

**PROPUESTA DE UN SISTEMA SOSTENIBLE DE ABASTECIMIENTO DE
AGUA POTABLE EN EL CORREGIMIENTO DE NUEVA VENECIA,
MAGDALENA**

**Brayan Alejandro Romero Figueroa
German David González Molina**



**Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá D.C.
Mayo 2019**

**PROPUESTA DE UN SISTEMA SOSTENIBLE DE ABASTECIMIENTO DE
AGUA POTABLE EN EL CORREGIMIENTO DE NUEVA VENECIA,
MAGDALENA**

**Brayan Alejandro Romero Figueroa
German David González Molina**

**Director:
José Francisco Ibla Gordillo, cPhD**

**Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Ambiental**

**Línea de Investigación:
Infraestructura sustentable y Manejo integral del recurso hídrico**

**Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Ambiental
Bogotá D.C. Colombia
Mayo 2019**

SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

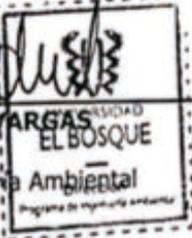
ACTA No: 1035

El día **13 MAYO 2019**, en las instalaciones de la Universidad El Bosque, se desarrolló la sustentación del trabajo de grado titulado **PROPUESTA DE UN SISTEMA SOSTENIBLE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL CORREGIMIENTO DE NUEVA VENECIA, MAGDALENA**, escrito por **BRAYAN ALEJANDRO ROMERO FIGUEROA, CÉDULA 1192721386** y **GERMAN DAVID GONZALEZ MOLINA, CÉDULA 1020804863**, bajo la dirección de **JOSE FRANCISCO IBLA GORDILLO, CÉDULA 80241303**, como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero Ambiental. El trabajo fue evaluado por los jurados **CARLOS ANDRES PEÑA CÉDULA 80.730.492** y **HERNANDO NIÑO PARRA CÉDULA 19128303**, quienes deliberaron y concluyeron que cumple con los criterios de calidad.

Por lo tanto, el trabajo es: **Aprobado.**

En constancia, se firma en Bogotá, D.C.

13 MAYO 2019


KENNETH OCHOA VARGAS
Director
Programa de Ingeniería Ambiental



GERMAN AGUDELO ASPINOSO
Secretario Académico
Facultad de Ingeniería


La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.



Agradecimientos

Inicialmente a la comunidad de Nueva Venecia, Magdalena, por su colaboración e inspiración en la formulación y desarrollo de este proyecto investigativo.

A nuestro director José Francisco Ibla por creer en este proyecto y apoyarnos constantemente.

A los estudiantes que hacen parte del semillero ARPREAMS, por su motivación y retroalimentación; a Maria Paula Quintero y Ana Duran por su dedicación y aporte en la redacción de nuestros resultados; a las auxiliares del laboratorio de ingeniería ambiental por guiarnos en los procesos metodológicos; al área de microscopía de la Universidad de los Andes.

TABLA DE CONTENIDO.

I. Resumen	12
II. Introducción	14
CAPÍTULO I. FUNDAMENTOS INICIALES.....	15
I. Antecedentes.....	15
II. Planteamiento del problema	15
III. Pregunta de investigación	17
IV. Objetivos.....	18
V. Justificación	18
VI. Hipótesis	19
CAPÍTULO II. CONSIDERACIONES PRELIMINARES	20
VII. Marco de referencia	20
Marco geográfico.....	20
Marco normativo.....	21
Marco institucional	23
Marco teórico-conceptual	24
Estado del arte	27
VIII. Metodología.....	31
Objetivo específico 1	32
Objetivo específico 2	36
Objetivo específico 3	40
CAPÍTULO III. DIAGNÓSTICO SOCIO-AMBIENTAL DE NUEVA VENECIA	43
CAPÍTULO IV. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES	76
CAPÍTULO V. DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO	104
CAPÍTULO VI. CONSIDERACIONES FINALES	146
I. Conclusiones	146
II. Recomendaciones.....	147
ANEXOS	159

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Marco legal aplicable.....	22
Tabla 2. Clasificación de compositos	26
Tabla 3. Tabla metodológica	42
Tabla 4. Resultados de las encuestas dirigidas a la comunidad de tipo social.....	56
Tabla 5. Resultados de las encuestas dirigidas a la comunidad de tipo económico	62
Tabla 6. Resultados de las encuestas dirigidas a la comunidad de tipo ecológico.....	63
Tabla 7. Parámetros químicos en agua tomada en tres (3) puntos del complejo pajarales	65
Tabla 8. Resultados del ensayo de Sólidos Totales de tres muestras de agua en el complejo pajarales.....	66
Tabla 9. Composición química del banano Cavendish	77
Tabla 10. Contenido promedio de agua en tejidos del banano	80
Tabla 11. Resultados para la prueba de contenido de carbono total.....	82
Tabla 12. Corrosividad del Polietileno de Baja Densidad (PEBD)	89
Tabla 13. Codificación de los biocompositos	92
Tabla 14. Corrosión salina para los biocompositos.....	99
Tabla 15. Ponderación de las categorías	102
Tabla 16. Evaluación de materiales	102
Tabla 17. Resultados generales de la caracterización de los materiales	103
Tabla 18. Numero de lados de cada sección expuesta	110
Tabla 19. Bases secundarias	111
Tabla 20. Bases secundarias	114
Tabla 21. Densidad de materiales usados	117
Tabla 22. Parámetros de calidad del agua suministrados por el filtro.....	118
Tabla 22. Masa de los biocompositos seleccionados	120
Tabla 23. Masa de componentes por material	120
Tabla 24. Estimación media, máxima y mínima del potencial de captación de agua lluvia.....	121
Tabla 25. Estimación del potencial de captación de agua atmosférica para la estructura del reservorio	123
Tabla 26. Dimensionamiento del depósito	124
Tabla 27. Longitud entre las bases	128
Tabla 28. Dimensionamiento de las bases	129
Tabla 29. Dimensionamiento de soportes complementarios	130
Tabla 30. Masa de los biocompositos seleccionados	134
Tabla 31. Masa de componentes por material	134
Tabla 32. Estimación media, máxima y mínima del potencial de captación de agua lluvia.....	135
Tabla 33. Estimación del potencial de captación de agua atmosférica para la estructura palafítica	136
Tabla 34. Dimensionamiento del depósito	136
Tabla 35. Comparación presupuestal	138
Tabla 36. Dimensionamiento de los modelos	139
Tabla 37. Matriz de impactos ambientales.....	142



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la CGSM	20
Figura 2. Imagen Satelital de la CGSM	21
Figura 3. Organigrama de los actores institucionales en la Ciénaga grande de Santa Marta.	24
Figura 4. Morfología de los tejidos naturales	29
Figura 5. Vista Satelital de Nueva Venecia	44
Figura 6. Viviendas Palafíticas de Nueva Venecia.....	46
Figura 7. Lisa secada en trojas	47
Figura 8. Sistema sanitario en Nueva Venecia	47
Figura 9. Bongoducto en proceso de llenado.....	48
Figura 10. Reservorio de agua	49
Figura 11. Tanques de almacenamiento de agua	49
Figura 12. Sistema de recolección de agua lluvia	50
Figura 13. Filtro de arcilla	50
Figura 14. Reservorio Comunitario Abandonado	51
Figura 15. Racimos de banano recién cortados.....	51
Figura 16. Distribución de géneros de las personas encuestadas en Nueva Venecia.	57
Figura 17. Distribución de la percepción de los problemas comunitarios en Nueva Venecia	58
Figura 18. Percepción sobre el estado del agua de consumo.	58
Figura 19. Distribución porcentual de los mecanismos de abastecimiento de agua potable en Nueva	59
Figura 20. Percepción porcentual de la afectación del agua de consumo a la salud en Nueva	60
Figura 21. Distribución porcentual de la cantidad de habitantes por vivienda en Nueva Venecia..	61
Figura 22. Mecanismos de abastecimiento para actividades relacionadas con el agua en Nueva	61
Figura 23. Porcentaje de la aceptación hacia la alternativa de recolección de agua lluvia	62
Figura 24. Cantidad porcentual de inversión diaria en agua en Nueva Venecia	63
Figura 25. Percepción de la afectación de las actividades agrícolas de la Zona Bananera en Nueva Venecia	64
Figura 26. Puntos de Muestreo del corregimiento de Nueva Venecia	65
Figura 27. Contenido promedio de fosfatos en los puntos de muestreo	67
Figura 28. Contenido promedio de sulfatos en muestras de agua del Bongoducto (BD), Nueva Venecia (NV) y de agua lluvia (AV).....	68
Figura 29. Dureza total promedio para los tres puntos de muestreo expresada en concentración de carbonatos de calcio en mg/L	69
Figura 30. Cloruros en agua del caño Aguas Negras (BD), Nueva Venecia (NV) y agua lluvia recolectada en la comunidad (NV).....	69
Figura 31. pH promedio del agua en los tres puntos de muestreo.	70
Figura 32. Conductividad en los tres puntos registrados; Bongoducto (BD), Nueva Venecia (NV) y agua lluvia (AL)	71
Figura 33. Sólidos Totales en muestras de agua de Bongoducto (BD), del corregimiento (NV) y de agua lluvia (AL)	72
Figura 34. Carga de sólidos en el agua de Bongoducto (BD).....	73
Figura 35. Carga de sólidos en el agua de Nueva Venecia (NV).....	73
Figura 36. Carga de sólidos en el agua lluvia clarificada (AL)	74
Figura 37. Puntos de recolección de muestras en Zona Bananera	76
Figura 38. Muestras vegetales	77
Figura 39. Centro de acopio de sacos de Polietileno de Baja Densidad (PEBD) en la población de Sevilla, Zona Bananera, Magdalena.	78



Figura 40. Proceso de corte, secado y trituración de las muestras de pseudotallo	79
Figura 41. Proceso de corte, secado y trituración de las muestras de vástago	79
Figura 42. Proceso de corte, secado y trituración de las muestras de residuos foliares	79
Figura 43. Contenido porcentual de agua en tejidos vegetales del banano.	80
Figura 44. Pruebas de hinchamiento de PT	81
Figura 45. Pruebas de hinchamiento de VA.....	82
Figura 46. Pruebas de hinchamiento de RF.....	82
Figura 47. Contenido promedio de carbono en tejidos de banano	83
Figura 48. Micrografías de tejidos de banano de magnitud 150 a 20kV de intensidad con escala de 100 μm	83
Figura 49. Micrografía del pseudotallo de banano de magnitud 1000 a 20 kV de intensidad con escala de 10 μm	84
Figura 50. Micrografía del vástago de banano de magnitud 400 a 20 kV de intensidad con escala de 50 μm	84
Figura 51. Micrografía de los residuos foliares de banano de magnitud 1.000 a 20 kV de intensidad con escala de 10 μm	85
Figura 52. Espectro de FT-IR de la muestra de pseudotallo (PT).....	86
Figura 53. Espectro de FT-IR de la muestra de vástago (VA)	86
Figura 54. Espectro de FT-IR de la muestra de residuos foliares (RF).....	86
Figura 55. Proceso de secado y trituración de las muestras de PEBD.....	87
Figura 56. Proceso de hinchamiento del PEBD	88
Figura 57. Micrografía del PEBD en zona de corte, con intensidad de 5kV, magnitud de x800 y escala de 20 μm	90
Figura 58. Espectro de FT-IR del polímero PEBD	91
Figura 59. Piezas finales de los biocompositos de PEBD y fibras vegetales con su respectivo porcentaje.	93
Figura 60. Porcentaje promedio de hinchamiento de PEBD+PT 60/40	94
Figura 61. Porcentaje promedio de hinchamiento de PEBD+PT 80/20	94
Figura 62. Porcentaje promedio de hinchamiento de PEBD+VA 60/40	94
Figura 63. Porcentaje promedio de hinchamiento de PEBD+VA 80/20	94
Figura 64. Porcentaje promedio de hinchamiento de PEBD+VA 80/20	95
Figura 65. Porcentaje promedio de hinchamiento de PEBD+VA 80/20	95
Figura 66. Micrografía del PEBD al 60% con PT al 40%, con intensidad de 10kV, magnitud de x80 y escala de 200 μm	96
Figura 67. Micrografía del PEBD al 80% con PT al 20%, con intensidad de 10kV, magnitud de x80 y escala de 200 μm	96
Figura 68. Micrografía del PEBD+VA 60/40.....	97
Figura 69. Microscopia del PEBD+VA 80/20.....	97
Figura 70. Microscopia del PEBD+RF 60/40 con intensidad de 10kV, magnitud de 800x y escala de 20 μm 1. PEBD 2. RF 3. Adhesión de los materiales	98
Figura 71. Microscopia del PEBD+RF 80/20.....	98
Figura 72. Estructura para la captación hídrica en el reservorio actual	105
Figura 73. Vista frontal y superior del reservorio central en Nueva Venecia	106
Figura 74. Pilotes de soporte	108
Figura 75. 2D desde plano	109
Figura 76. Bases secundarias	110
Figura 77. Soportes complementarios	111



Figura 78. Ubicación de los soportes del filtro en la estructura.....	112
Figura 79. Ubicación del embudo de recolección en la estructura.....	113
Figura 80. Ubicación del embudo de recolección en la estructura.....	114
Figura 81. Ubicación del enmallado	115
Figura 82. Comparación entre dos sistemas de filtrado de acuerdo a la composición porcentual.....	116
Figura 83. Filtro seleccionado para la propuesta	117
Figura 84. Ubicación del filtro en el sistema.....	119
Figura 85. Estructura de acuerdo al material usado	119
Figura 86. Estructura para la captación hídrica en la periferia	126
Figura 87. Vista frontal y superior de la estructura palafítica de soporte	127
Figura 88. Vista frontal y superior de los soportes	128
Figura 89. Dimensiones de las bases secundarias.....	128
Figura 90. Vista frontal y superior de las bases secundarias.....	129
Figura 91. Vista frontal y superior de los soportes complementarios.....	130
Figura 92. Vista frontal y superior del embudo de recolección	131
Figura 93. Sólido de revolución para la función transformada	132
Figura 94. Vista frontal y superior del enmallado en la estructura	133
Figura 95. Vista frontal y superior del enmallado en la estructura	133
Figura 96. Estructura de acuerdo al material usado	134
Figura 97. Captación mensual de ambos modelos	140
Figura 98. Precipitación mensual de Sevilla, Zona Bananera.....	140
Figura 99. Precipitación mensual de Sevilla, Zona Bananera.....	141
Figura 100. Personas abastecidas con los dos modelos condiciones de captación mínima, máxima y media.....	141
Figura 101. Diseño 3D de la estructura en el reservorio elegida para el abastecimiento de Nueva Venecia.	145



LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Árbol de problemas	159
Anexo 2. Índice de Riesgo de Calidad del Agua para el departamento de Magdalena	160
Anexo 3. Mapa de producción de Banano en Colombia	161
Anexo 4. Palafitos alrededor del mundo	162
Anexo 5. Cronograma de visita de campo	163
Anexo 6. Entrevista semiestructurada.....	164
Anexo 7. Formato de encuestas estructuradas.....	165
Anexo 8. Molde laminar de 12x2x0,4cm.	166
Anexo 9. Molde de torsión 13,5x2x0,7cm.	166
Anexo 10. Molde de compresión 1x1x2 cm.	166
Anexo 11. Bongoducto	167
Anexo 12. Entrevista a Giovanni Rodríguez	168
Anexo 13. Entrevista a Temy Meléndez.....	169
Anexo 14. Entrevista a José Luis Donado	172
Anexo 15. Entrevista a Juan Vaca Gutiérrez	173
Anexo 16. Entrevista a Jesús Suarez	174
Anexo 17. Entrevista a Amalfi castillo	175
Anexo 18. Resultados complementarios de contenido de agua	176
Anexo 19. Resultados complementarios de contenido de carbono	176
Anexo 20. Densidades de los materiales	177
Anexo 21. Dimensionamiento de la estructura palafítica	178
Anexo 22. Valores de precipitación de Sevilla, Zona Bananera del 2010-2014	181
Anexo 23. Valores de velocidad del viento relativa de Sevilla, Zona Bananera del 2010-2014 ...	182
Anexo 24. Dimensionamiento de las estructuras de captación.....	183



PROPUESTA DE UN SISTEMA SOSTENIBLE DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE EN EL CORREGIMIENTO DE NUEVA VENECIA, MAGDALENA

I. Resumen

Al interior de la Ciénaga Grande de Santa Marta se encuentra el corregimiento de Nueva Venecia, pueblo palafítico que en las últimas décadas ha experimentado altas presiones por actividades antrópicas que, entre otras cosas, modificaron las condiciones hídricas en todo el sistema lagunar; llevando a la comunidad a una emergencia sanitaria a causa del consumo de agua sin tratamiento previo. De acuerdo a lo anterior, se planteó como objetivo proponer un sistema de abastecimiento de agua potable a partir de materiales sostenibles, por medio del aprovechamiento de los residuos agrícolas de la Zona Bananera. Esto se desarrolló a partir del diagnóstico de las problemáticas ambientales especificadas por la población; se implementaron entrevistas semiestructuradas, encuestas de tipo cuestionario y observación participativa. Posteriormente se elaboraron y caracterizaron biocompositos mediante la combinación de los residuos vegetales y poliméricos recolectados en Guacamayal, Zona Bananera, para adecuarlos a un sistema de abastecimiento de agua potable diseñado según las particularidades socio-ambientales de la zona. Se evidenció una alta aceptabilidad de la comunidad para el desarrollo de este proyecto dado que las alternativas propuestas hasta el momento no han sido exitosas y el modelo de abastecimiento actual es poco sostenible. Los materiales analizados que mejor se acoplan al diseño planteado son una combinación entre el polietileno de baja densidad junto con las fibras del banano (vástago y residuos foliares) a una proporción 80%-20%, debido a su buen desempeño ante la corrosión salina y la interfase micro estructural fuerte entre la fibra y el polímero. Finalmente se planteó una estructura de captación de precipitación horizontal y vertical establecida sobre el reservorio central en Nueva Venecia; el sistema es capaz de abastecer hasta 78 personas durante todo el año y se presenta como una alternativa a la captación actual.

Palabras clave: Sistema de abastecimiento sostenible, biocomposito, fibras naturales.



Abstract

Inside of the Ciénaga Grande de Santa Marta is located Nueva Venecia, a pile-dwelling town that in recent decades has experienced high pressures from anthropogenic activities that, among other things, modified the water conditions in the entire lagoon system; leading to a health emergency due to water consumption without prior treatment. The objective was to propose a potable water supply system based on sustainable materials, using agricultural waste from Zona Bananera. This was developed from the diagnosis of the environmental problems communicated by population; semi-structured interviews, questionnaires and participatory observation were implemented. Later, the biocomposites were elaborated by the combination of vegetal and polymer residues collected in Guacamayal, Zona Bananera, to adapt them to a potable water supply system designed according to the socio-environmental characteristics of the area. The high acceptability of the community for the development of this project was evident, the alternatives proposed up to now have not been successful and the current supply model is not sustainable. The analyzed material that best fit the proposed design were blended materials between low density polyethylene and banana fibers (rachis and foliar residues) in a percentage of 80%-20%, due to its good performance against saline corrosion and the strong micro structural interface between fiber and polymer. Finally, a horizontal and vertical precipitation collection structure established on the central reservoir in Nueva Venecia was proposed; the system is able to supply up to 78 people throughout a whole year and is presented as an alternative to the current collection.

Key words: Sustainable water supply system, biocomposite, natural fibers.



II. Introducción

Colombia cuenta con la mayor dotación de agua por habitante en el mundo, debido a que de 1'141.748 km² de superficie, aproximadamente el nueve porciento (9%) es agua (Vivas, 2018); esto aumenta la idea de un recurso casi inagotable, promueve su uso excesivo y reduce la importancia a las problemáticas por contaminación hídrica y uso irracional (Carvajal, 2011). Esto se presenta en la zona costera del departamento de Magdalena, pues al contar con diversos asentamientos humanos que desarrollan actividades agrícolas, ganaderas, mineras, entre otras, el uso del agua se encuentra subordinado a las necesidades económicas. Así, se incrementan los vertimientos al mar caribe, lagunas y ríos, que modifican de forma gradual las características fisicoquímicas del recurso (Invemar, 2017) y llegan a afectar drásticamente las grandes ecorregiones del caribe como la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM).

Las modificaciones de los parámetros básicos de calidad del agua, no permiten un aprovechamiento adecuado del recurso para el consumo humano de acuerdo a la Resolución 2115 del 2007, establecida por el Ministerio de Protección Social. Esta descompensación afecta a las comunidades locales y a los pueblos tradicionales que coexisten en el ecosistema estuarino. Uno de los más representativos al interior de la ciénaga, es el corregimiento palafítico de Nueva Venecia (Sitio Nuevo, Magdalena), cuya problemática principal es la falta de un servicio de agua potable. Esto obliga a los habitantes a adquirir el agua para el consumo por medio de mecanismos manuales (Bongoducto) a un costo elevado y de mala calidad (Vivas, 2018).

Dado lo anterior, se pretende realizar una propuesta bajo las líneas de investigación de infraestructura sustentable y manejo integrado del recurso hídrico. La solución que se plantea radica en la implementación de nuevos materiales de construcción sostenible en el marco de un sistema de abastecimiento hídrico en Nueva Venecia. Esta se presenta como un esfuerzo por usar materiales locales que promuevan estructuras acordes a las necesidades culturales de los habitantes y, a su vez, generen oportunidades de innovación y reivindicación de la identidad tradicional.

El presente proyecto, muestra el desarrollo de la propuesta de abastecimiento de agua potable. Se inicia con un diagnóstico de Nueva Venecia con respecto a la demanda y disposición del agua potable, diagnóstico realizado por medio de una visita de campo, comunicación con grupos focales, documentación, análisis estadístico y otros parámetros que ayudan al entendimiento de las dinámicas poblacionales entorno al recurso hídrico. En un segundo momento, se establece el material constructivo para el sistema de abastecimiento hídrico, mediante la elaboración de biocompositos a base de polietileno de baja densidad (PEBD) y fibras de banano; residuos obtenidos en la Zona Bananera con un potencial de aprovechamiento. Finalmente, se plantea el diseño estructural del modelo de abastecimiento hídrico para la comunidad.



CAPÍTULO I. FUNDAMENTOS INICIALES

I. Antecedentes

El desarrollo del presente proyecto investigativo inició a finales del 2017 con la investigación en torno a la población palafítica de Nueva Venecia. Aunque se identificaron varias problemáticas de carácter económico, social, cultural y ecológico, la idea de realizar una propuesta de un sistema sostenible de abastecimiento de agua potable se forjó cuando se reconoció que la calidad del agua era el problema más urgente. Esta condición se agudiza, dada la poca presencia e interés por parte de las entidades públicas y privadas que propenden por el desarrollo de las comunidades que se encuentran dentro de la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM).

En ese orden de ideas, se plantea desde la Ingeniería Ambiental un proyecto que comprenda las complejidades de la región y, a su vez, aborde de manera holística la problemática del abastecimiento hídrico en Nueva Venecia. Partiendo desde el trabajo comunitario como foco de desarrollo para la labor ingenieril, este proyecto responde al modelo biopsicosocial de la Universidad el Bosque, en la medida en que se comprende el problema del agua desde los aspectos culturales y sociales de la comunidad de Nueva Venecia.

El proyecto se enmarca, además, en la participación del Semillero de Investigación ARPEMS (Aprovechamiento de Residuos Poliméricos en la Elaboración de Materiales Sostenibles), vinculado al programa de Ingeniería Ambiental. Gracias a lo aprendido en este semillero, respecto al aprovechamiento de residuos para elaborar biomateriales, en este proyecto pudimos buscar el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades a partir del uso de residuos poliméricos en la elaboración de materiales sostenibles. En este caso, se utilizaron fibras naturales de banano y polietileno de baja densidad (polímero), subproductos de la actividad agrícola bananera, para ser incorporados en la infraestructura local y adaptados a las condiciones particulares de los palafitos.

II. Planteamiento del problema

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), 2.100 millones de personas en el mundo carecen de seguridad hídrica, en su mayoría habitantes de zonas rurales. De dichos 2.100 millones, 844 millones no tiene acceso a agua potable, 263 millones tienen que emplear más de 30 minutos para recogerla y 159 millones consumen agua no tratada de cuerpos superficiales. Esto incrementa las condiciones deficientes de saneamiento y, a su vez, la transmisión de enfermedades como cólera, disentería, hepatitis A y fiebre tifoidea, además de padecimientos como la diarrea, que anualmente causa 361.000 muertes infantiles en todo el mundo (OMS, 2017).

Colombia es uno de los 90 países cuya cobertura de agua potable y saneamiento básico no se alcanzará a cubrir antes del 2030, debido a su incipiente proceso de gestión sanitaria y a la falta de inversiones adecuadas en infraestructura; condiciones que retrasan la posibilidad de cumplir con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número seis (6) (*Agua limpia y Saneamiento*) del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, que pone como meta “garantizar el acceso universal al agua potable, segura y asequible para todos” (ONU, 2016). Asimismo, se evidencia el incumplimiento del ODS número uno (1), que promulga “poner fin a la pobreza en todas sus formas en todo el mundo” y en el que se toma en cuenta el acceso a los servicios básicos y fundamentales (OMS, 2017); considerando el recurso hídrico como un derecho fundamental.



Nueva Venecia es el único palafito activo en Colombia sin acceso directo a tierra firme, es decir que todas sus interacciones sociales se llevan a cabo por medio de embarcaciones de pequeño porte, lanchas y chalupas que ayudan al desarrollo social, económico y cultural del corregimiento. Para algunas entidades públicas, privadas e investigadores, el hecho de no encontrarse en tierra firme genera un sinnúmero de consecuencias, debido a que se agudizan las limitaciones para la ejecución de algunos proyectos que incentiven un modelo sostenible de abastecimiento de agua potable en la zona, haciendo inviable la posibilidad de contar con un sistema de acueducto y alcantarillado convencional, debido a las dinámicas socio-ambientales de la población.

El corregimiento de Nueva Venecia, Magdalena cuenta con la mayor tasa de incidencia de Enfermedades Diarreicas Agudas (EDAs) en las comunidades de la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM), lo anterior supone una relación directa con las condiciones de calidad del agua para uso y consumo (Betancourt y Triana, 2005). Así mismo, el área correspondiente al corregimiento de Nueva Venecia, evidencia un sistema de abastecimiento hídrico inviable sanitariamente (Anexo 2); Presenta un nivel de riesgo alto (98.7%) de enfermedades reportadas por el consumo de agua en la zona, como EDAs, dermatitis, gastroenteritis y fiebre entérica, entre otras, que se producen debido a la presencia de patógenos microbiológicos (*E. coli*, *Vibrio sp.*, *Aeromonas sp.* y *Pseudomonas sp.*), coloración, turbidez y pH que fueron establecidas por el Instituto Nacional de Salud (INS, 2016). Las redes de suministro de los prestadores del servicio de agua potable de los habitantes de Magdalena, presentan un riesgo medio (47%) de enfermedades al ingerir este recurso, demostrando que el agua disponible no es apta para el consumo humano.

La Zona Bananera aporta a los ríos circundantes una carga contaminante de 273,3 ton de DBO/año y 680 ton de SST/año, además de contaminantes orgánicos persistentes (COPs) en concentraciones que varían desde los 10,9 ng/L hasta los 40 ng/L de Organoclorados (OC) en la Ciénaga de Pajalal (Complejo lagunar donde se encuentra el corregimiento de Nueva Venecia). La evapotranspiración (1.431 mm/año) es mayor a la precipitación (807 mm/año), lo que propicia un menor movimiento de la masa de agua en la ciénaga y a su vez un aumento en las concentraciones de materia orgánica que disminuyen el oxígeno disuelto (7,72 mg/L) (REDCAM, 2011).

Las situaciones arriba mencionadas generan metano en descomposición (NH_4) (200 mg/L) y estrés amoniacal, parámetros que repercuten en las constantes mortandades de peces en la zona (Betancourt & Triana, 2005). Uno de los ríos afectados es el río Aracataca que sufre a la población de Nueva Venecia. Esto demuestra un incumplimiento de los parámetros de Coliformes Totales y Termotolerantes en más de 2.000 NMP/100 mL, con relación a la *Resolución 2428 de 2012* de CORPAMAG, en la que se establecen los objetivos de calidad hídrica en el Magdalena y la prohibición de cualquier tipo de residuos líquidos o sólidos desde tres kilómetros (3 Km) aguas arriba de la bocatoma del acueducto (REDCAM, 2011).

Las dinámicas hídricas de la ciénaga repercuten en el comportamiento de las poblaciones ícticas¹ del complejo lagunar de la CGSM, en donde se obtuvo una reducción de 27.000 ton/año en 1967 a 1.785 ton/año 1990 (equivalente al 93%); fenómeno que afecta al 92% de los pescadores que ganan menos de un salario mínimo legal vigente del año 2014 (\$ 616.000), a pesar de ser una industria que aporta tres millones de dólares al año. Esto perjudica, también, al 53% de las actividades económicas y culturales de Nueva Venecia, que dependen de la pesca; el resto de las actividades se distribuye de la siguiente manera: el 23% se refleja en el comercio informal, el 9% en inversionistas agropecuarios,

¹ Perteneciente a un pez o también a todos los peces sin tener en cuenta su clasificación taxonómica y relacionado con la sección de la ictiología (Acero & Polanco, 2017).



el 7% en comerciantes ribereños y el 8% no se ve representado en actividades económicas. Con base en lo anterior, la tasa de desempleo se ubica entre las más altas del departamento, ascendiendo a 32,8%, lo que acarrea que el 72,63% de la población presente necesidades básicas insatisfechas, entre ellas el acceso a agua potable y la falta de educación (57,5% de analfabetismo, 9,3% de escolaridad) (Aguilera, 2011; Jensen Gómez, 2014).

A pesar de las condiciones de Nueva Venecia, el servicio de abastecimiento hídrico actual se suple mediante el almacenamiento del agua en tanques de 20 Litros, recolectados 25 kilómetros al sur en la desembocadura del Río Aracataca, mediante canoas llamadas “Bongoductos”. Luego se vende a la población por \$400 la ración sin ningún tratamiento previo (Jensen Gómez, 2014). Actualmente, una familia promedio paga alrededor de \$480.000 la ración mensual, cifra comparable con el pago del servicio de acueducto y alcantarillado de una vivienda estrato seis (6) en Bogotá (Vivas, 2018).

La problemática principal de este proyecto investigativo, radica en la falta de un sistema sostenible de abastecimiento de agua potable, que se adapte a las condiciones sociales y ambientales de Nueva Venecia. Esta es una problemática a nivel ecológico, porque el número de contaminantes que son vertidos de forma directa a las diversas fuentes hídricas, afectan los ecosistemas circundantes y generan un deterioro de los servicios ecosistémicos de la ciénaga. Así mismo, desde el punto de vista social, las dinámicas socio-culturales de los habitantes no permiten la inmersión de nuevas tecnologías y mercados más sostenibles que mejoren la calidad de vida, ni permiten un mejor desarrollo de la sociedad. De acuerdo al elemento económico, se puede mencionar que la comunidad, al tener como principal ingreso la actividad pesquera (Aguilera, 2011), presenta bajos ingresos, y costos muy altos para el abastecimiento de agua (\$480.000). Finalmente, el componente tecnológico se perjudicó ya que no se puede implementar cualquier método de abastecimiento de agua convencional, debido a que es una zona que se encuentra netamente en la ciénaga y no tiene contacto con tierra firme (Anexo 1).

A partir de lo anterior, se reconoce la necesidad de desarrollar una propuesta de un sistema sostenible para el abastecimiento de agua potable en Nueva Venecia, Magdalena; debido a la inadecuada calidad del recurso, por obtenerse a partir de fuentes que se encuentran contaminadas. Esto indica la urgencia que tienen los habitantes de la zona por desarrollar un mecanismo que funcione para el abastecimiento hídrico de la comunidad e integre los aspectos sociales, económicos, tecnológicos y ambientales. Se escogió esta problemática porque se pretende contribuir en el desarrollo de soluciones a problemas puntuales en comunidades poco estudiadas; además de promover el uso e innovación de materiales sostenibles que cuenten con características favorables al ambiente, garanticen resistencia a las condiciones externas y ayuden a mejorar la calidad de vida de los habitantes.

III. Pregunta de investigación

Teniendo en cuenta la naturaleza y el alcance de este proyecto investigativo, se propuso la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo establecer un sistema de abastecimiento de agua potable, mediante la incorporación de materiales sostenibles que se adapten a las necesidades de la población del corregimiento de Nueva Venecia, Magdalena?



IV. Objetivos

Objetivo General

Proponer un sistema de abastecimiento de agua potable a partir de materiales sostenibles en el corregimiento de Nueva Venecia, Magdalena, Colombia.

Objetivos específicos

1. Diagnosticar las condiciones socio-ambientales del corregimiento de Nueva Venecia, Magdalena.
2. Elaborar, a partir de residuos vegetales y poliméricos, un material sostenible para uso constructivo de un sistema de abastecimiento de agua potable.
3. Diseñar un sistema de captación hídrica que cumpla con los requerimientos técnicos y ambientales del corregimiento de Nueva Venecia.

V. Justificación

Entre los Objetivos de Desarrollo Sostenible planteados en el Plan de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), se establecen, entre otras cosas, el apoyo y fortalecimiento de la participación de las comunidades locales para la mejora de la gestión del agua y el saneamiento; la protección y restablecimiento de sus ecosistemas y la puesta en marcha de proyectos de captación de agua, uso eficiente de los recursos y desarrollo de tecnologías de reciclado y reutilización. Relacionados con la industria y la innovación, estas metas también incluyen el “desarrollo de infraestructuras fiables, sostenibles, resilientes y de calidad, para apoyar el desarrollo económico y el bienestar humano” (ONU, 2016), como aspectos claves para el desarrollo comunitario y equitativo a los que se pretende aportar mediante la ejecución del proyecto.

La adecuada gestión del recurso hídrico es un proceso clave en el mejoramiento de la calidad de vida de una comunidad. La Ingeniería Sociotécnica ofrece las bases para el desarrollo de un sistema de captación de aguas lluvias asequible y ambientalmente sostenible, adaptado a los estándares socioculturales de la población; la adecuación de biocompuestos incentiva el uso de materiales que se encuentra en el sector y reduce de forma directa el número de residuos sólidos que son llevados a disposición final. Para esto, se pretende desarrollar una propuesta de captación de agua lluvia y atmosférica a partir de la combinación de una matriz polimérica y una fibra natural de origen local.

En Colombia no hay investigaciones contundentes sobre el uso de biocompositos a partir de residuos vegetales en comunidades palafíticas de aguas salobres; en ese orden de ideas, se debe conocer la potencialidad del material en la aplicación de sistemas de abastecimiento, para incentivar un modelo constructivo sostenible en el interior de un ecosistema delta estuarino como el presente en el corregimiento de Nueva Venecia -dentro de la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM)-. De esta forma se espera contribuir al adecuado acceso al agua.

En las inmediaciones orientales de la CGSM se encuentran unas 10.500 hectáreas de cultivos que producen anualmente 2'815.050 toneladas de *Banano Cavendish* (Anexo 3). Este mercado afecta indirectamente el entorno en la población de Nueva Venecia, debido a la carga contaminante de 273,3 ton/año en DBO y 680 ton/año de Sólidos Suspendidos Totales (SST) que esta actividad le aporta al ecosistema, propiciando las condiciones anóxicas y de hipersalinidad (Meneses, Agaton, Gutierrez, Mendieta y Lopez, 2010), así como residuos sólidos característicos de la producción bananera; son en total 1,5 toneladas por hectárea que se producen anualmente de sacos de Polietileno de Baja



Densidad (PEBD) usados para cubrir el racimo de banano, amarrados a su vez con Nylon de Polipropileno (PP) con el fin de mejorar la calidad de la fruta; esto contribuye a las 53.250 toneladas anuales de basura agrícola.

Los anteriores desechos podrían ser aprovechados como materias primas, pero actualmente se acumulan y degradan con poco o ningún tratamiento en los márgenes de la ciénaga. Así mismo, la mala disposición de los sacos plásticos produce pérdidas en la permeabilidad e infiltración en el suelo, generando un lavado de nutrientes que disminuye la productividad de los suelos bananeros (Meneses, Agaton, Gutierrez, Mendieta, & Lopez, 2010). En los cultivos de banano se desperdicia del 70% al 80% de la biomasa total por hectárea, el 87% de los residuos foliares (hojas de plátano), 65% de vástagos, 52% de segundas y terceras (ramificaciones) y 79% de pseudotallos, y se pierden anualmente 250 toneladas de banano no exportado debido a daños mecánicos y patológicos o por no cumplir con los estrictos requerimientos estéticos de la fruta (Macias, 2010).

La combinación de la fibra de banano y los residuos poliméricos de PEBD pueden ser utilizados y mezclados para el desarrollo de un biocomposito que pueda ser acoplado a un sistema de abastecimiento de agua potable, enfocado en métodos de captación de agua de precipitación horizontal y vertical (Objetivo específico 3). Para el desarrollo de la propuesta anterior, se tiene en cuenta que los valores más altos de precipitación se encuentran entre los meses de julio a octubre, con niveles aproximados de 100-200 mm al mes, mientras que en los meses de enero, febrero, octubre, noviembre y diciembre los niveles de precipitación son mínimos (0-50mm) (Invemar, 2017).

Cabe destacar que la preservación de la tradición cultural en la Ciénaga Grande de Santa Marta es un aspecto fundamental en el planteamiento de este proyecto, debido a que la reivindicación de las comunidades y de sus costumbres es un factor determinante dada su vulnerabilidad. Estas poblaciones en entornos lacustres no desarrollan noción de la propiedad del espacio y se forjan dinámicas de estrecha dependencia con el complejo lagunar, que permiten que la población allí presente, haga parte de la riqueza cultural del continente (Aguilera, 2011). Este proyecto es relevando porque los intentos por resolver este problema han sido poco eficaces y no se han adaptado a las condiciones sociales y culturales de la comunidad, además está enfocado en solventar un derecho fundamental.

VI. Hipótesis

La propuesta del sistema de abastecimiento de agua potable en las viviendas palafíticas de Nueva Venecia, Magdalena, a partir de la implementación del biocomposito a base de fibras de banano y Polietileno de Baja Densidad (PEBD), genera mejoras en el modelo de captación del recurso hídrico.



CAPÍTULO II. CONSIDERACIONES PRELIMINARES

VII. Marco de referencia

Marco geográfico

La Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) es la laguna costera más grande del país; se encuentra en la macrocuenca del Magdalena en jurisdicción del departamento con el mismo nombre, entre las coordenadas 10°20' y 11°05' N y 74°06' y 74°52' O. Zona donde se encuentra un complejo lagunar intercomunicado por caños y canales con un área aproximada de 4.400 Km², un espejo de agua de 730 Km² y una capacidad que asciende a los 2.232'000.000 m³. La Ciénaga está en una planicie que se mezcla al occidente con el delta de desbordamiento del río Magdalena; hacia el sur, se encuentra con los abanicos coluviales de los ríos Tukurinca, Aracataca y Fundación que alimentan la Zona Bananera; al oriente, con límites costeros en una barra arenosa que permite el intercambio hídrico y el flujo descendente de las aguas de precipitación (Martinez, 2005).

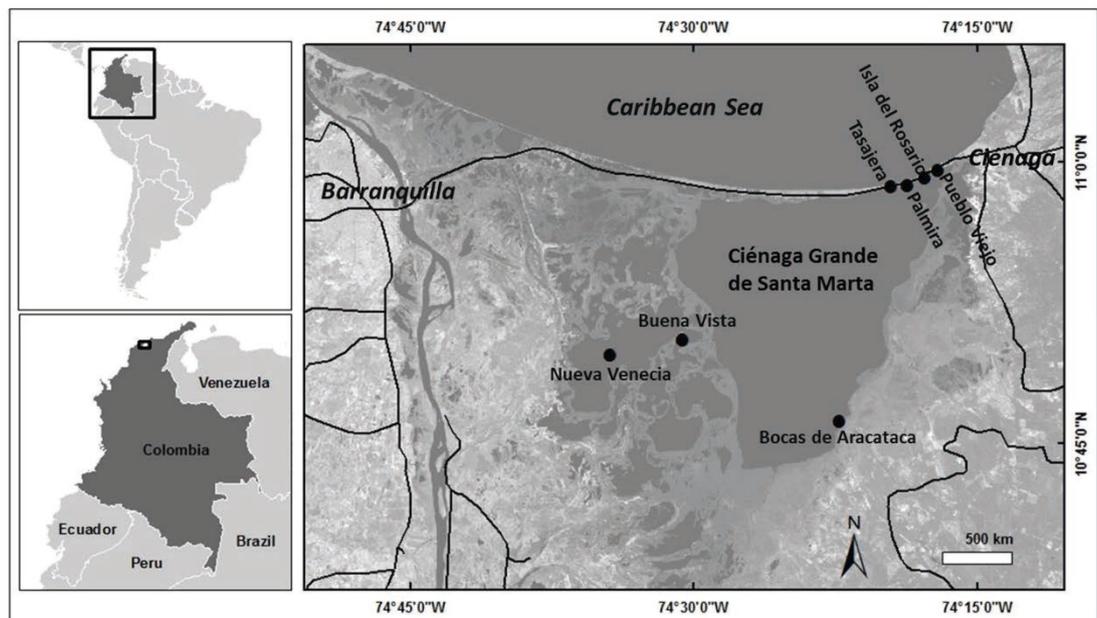


Figura 1. Ubicación de la CGSM

Fuente: (Guevara, Schlüter y Lopez, 2016)

En el año 1964, Parques Nacionales Naturales adiciona a su área de influencia el Vía-Parque Isla de Salamanca con 56.200 hectáreas (ha); en 1977 se crea el Parque Natural Ciénaga Grande de Santa Marta con 23.000 hectáreas (ha) como zona de reserva exclusiva y finalmente en el año 1998, se declara como el primer sitio Ramsar del país mediante el *Decreto 224*. Así mismo, se reconoció como área de importancia internacional para la conservación de aves (Ramsar, 2017), por contar con el bosque de manglar más extenso y diverso del caribe colombiano, que funciona como sumidero de carbono, regulador del régimen de lluvias y global del clima, productor de alimentos y materia prima, que beneficia a las comunidades aledañas (Martinez, 2005).



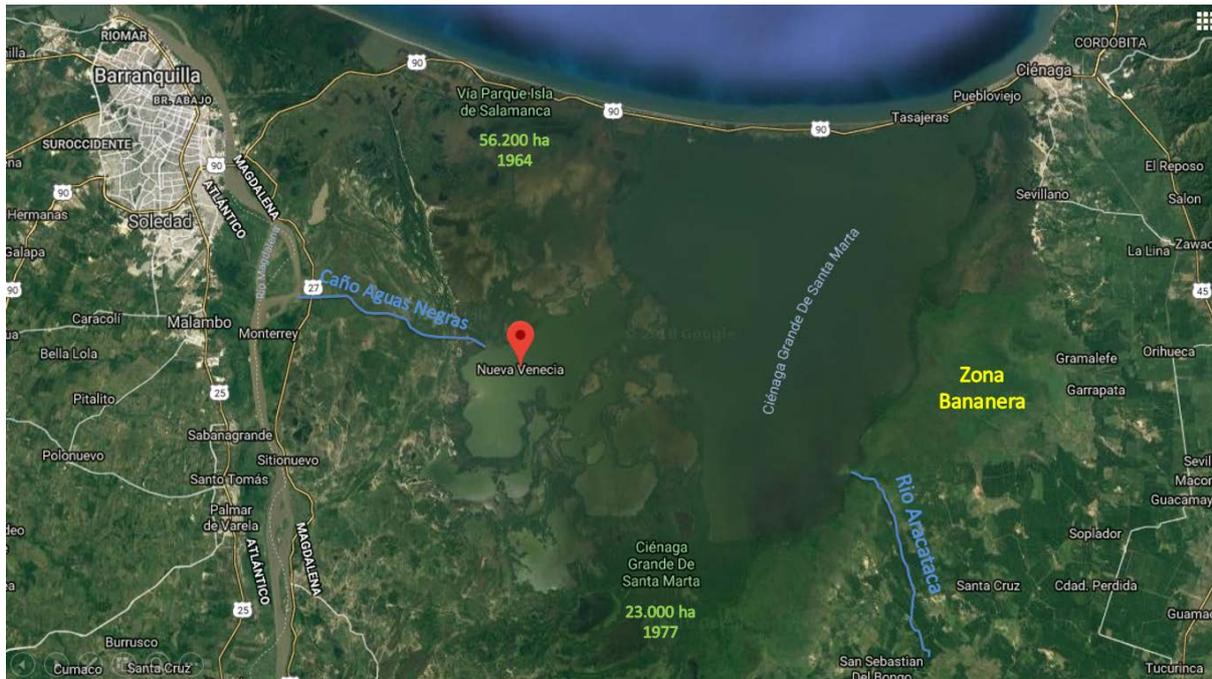


Figura 2. Imagen Satelital de la CGSM
Fuente: Modificada de Google Earth

Existen tres (3) pueblos que se consideran palafíticos en la CGSM. De éstos, el único cuyo acceso está restringido únicamente a embarcaciones ribereñas de pequeño porte es el corregimiento de Nueva Venecia (fundado en 1847); está ubicado a los $10^{\circ}49'43.97''$ N y $74^{\circ}34'29.78''$ O, al interior del complejo de Pajarales a 20 kilómetros de la ciudad de Barranquilla, pertenece al municipio de Sitionuevo y, en promedio, tiene una población de 4.600 habitantes distribuidos en aproximadamente 400 casas (Aguilera, 2011).

Marco normativo

Como marco general de la normativa y política referentes al agua para consumo humano se encuentra la Constitución Política de Colombia, que establece:

“Artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.” (República de Colombia, 1991).

“Artículo 366. El bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida de la población son finalidades sociales del Estado. Será objetivo fundamental de su actividad la solución de las necesidades insatisfechas de salud, de educación, de saneamiento ambiental y de agua potable.” (República de Colombia, 1991).

En la *Resolución 2115 de 2007* se describen mediante el capítulo II y III las características físicas y químicas del agua para consumo humano y las características microbiológicas respectivamente.

De esta forma, se presenta la normatividad que se relaciona con el agua para el consumo humano y los parámetros normativos de la Ciénaga Grande de Santa Marta que influye sobre los habitantes de Nueva Venecia- Magdalena. Esto se evidencia en la Tabla 1.



Tabla 1. Marco legal aplicable

Norma	Institución que la expide	Reglamentación
Acuerdo 03 de 1970	Ministerio de Agricultura	Por la cual se declara zona de reserva nacional al Ciénaga Grande de Santa Marta para los efectos de protección y conservación de los recursos.
Decreto 2811 de 1974	Congreso de Colombia	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.
Ley 9 de 1979	Congreso de Colombia	Por la cual se establecen las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de las descargas de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del ambiente.
Ley 99 de 1993	Congreso de Colombia	Por la cual se crea el Ministerio de Medio Ambiente, se reordena el sector público encargado de la gestión y conservación del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables, así mismo se organiza el Sistema Nacional Ambiental.
Ley 357 de 1997	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por la cual se aprueba la convención relativa a los humedales de importancia internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas, suscrito en Ramsar el 2 de febrero de 1971.
Ley 373 de 1997	Congreso de Colombia	Por el cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua.
Ley 387 de 1997	Congreso de Colombia	Por la cual se adoptan medidas para la prevención del desplazamiento forzado; la atención, protección, consolidación y esta estabilización socioeconómica de los desplazados internos por la violencia en la República de Colombia.
Decreto 224 de 1998	Ministerio de Medio Ambiente	Por el cual se designa el Sistema Delta Estuarino del Río Magdalena, Ciénaga Grande de Santa Marta, para ser incluido en la lista de humedales de importancia internacional en los dispuesto en la Ley 357 de 1997.
Resolución 1096 de 2000	Ministerio de Desarrollo Económico	Por el cual se adopta el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico.



Política Nacional Para Humedales Interiores de Colombia de 2002	Ministerio de Medio Ambiente y Consejo Nacional Ambiental	Por la cual se busca la conservación y el uso sostenible de los humedales interiores de Colombia con el fin de mantener y obtener beneficios ecológicos, económicos y socioculturales como parte integral del desarrollo del país.
Resolución 2428 de 2012	CORPAMAG	Por la cual se establecen los objetivos de calidad hídrica en el Magdalena y la prohibición de cualquier tipo de residuos líquidos o sólidos desde 3km aguas arriba de la bocatoma de acueducto.
Ley 1753 de 2015	Congreso de Colombia	Por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018
Plan de Desarrollo Territorial	Alcaldía de Sitio Nuevo	Por el cual se establece el Plan de Desarrollo Territorial 2016-2019 para el municipio de Sitio Nuevo, Magdalena.
Proyecto de Ley 48 de 2017	Congreso de Colombia	Por el cual se dictan normas para implementar e incentivar sistemas de recolección, tratamiento y aprovechamiento de agua lluvia.
Resolución 2115 de 2007	Ministerio de la protección social	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para el consumo humano.

Fuente: (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2019)

Marco institucional

Para atender las necesidades de los ecosistemas de esta región, considerado de importancia nacional desde 1987, se comenzaron procesos de gestión para la recuperación de la ecorregión de la Ciénaga Grande de Santa Marta, como la presentación de un proyecto ambiental para la subregión ante la Comisión Mixta Colombo-alemana en el Departamento Nacional de Planeación. Así mismo, se encuentran las entidades como INVEMAR y COLCIENCIAS, que se encargan de realizar investigaciones básicas y aplicación de los recursos naturales renovables. El Congreso de la República en 1988, creó la “Corporación Autónoma Regional del Magdalena y de la Sierra Nevada de Santa Marta” CORPAMAG. Ya en los 80 se estructura el Plan de Acción Forestal para Colombia PAFC, entidad que incluía el proyecto de recuperación del bosque de manglar de la ecorregión (CGSM). Cada uno de estas iniciativas, incentivó la creación del Programa Internacional de Recursos Ambientales de la Ciénaga Grande de Santa Marta, a través de la Dirección Nacional de Planeación (DNP) y la Agencia Técnica Alemana para la Cooperación y el Desarrollo (GTZ) (Barraza, Montiel, & De la Cruz, 2016).



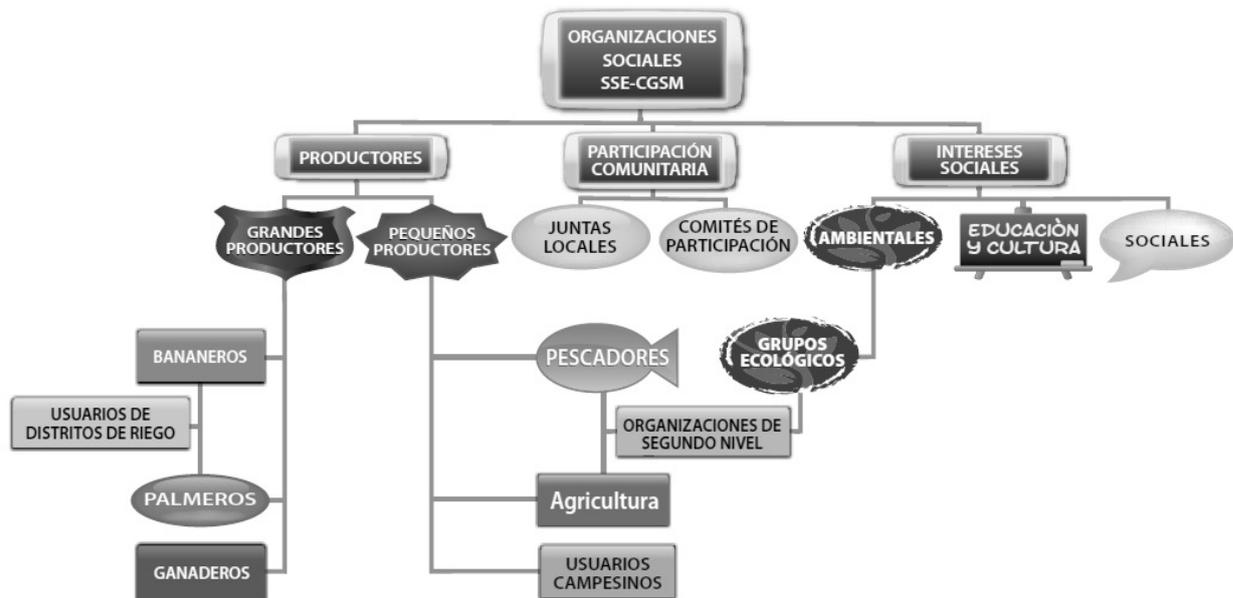


Figura 3. Organigrama de los actores institucionales en la Ciénaga grande de Santa Marta.

Fuente: (REDCAM, 2011)

En 1992, se desarrolló un proyecto de cooperación colombo-alemana, denominado Proyecto de Rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta (PROCIENAGA). Las entidades que hicieron parte de dicho proceso fueron: CORPAMAG, el Instituto de Investigación Marina y Costeras José Benito Vives D'Andreis -INVEMAR, el Consejo Regional de Planificación Socioeconómica de la Costa Atlántica (Abascal, y otros, 2016).

Marco teórico-conceptual

En 1987, la Organización de Naciones Unidas (ONU) y la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (WCED) establecieron el informe de Brundtland para exponer el tema de desarrollo sostenible con la siguiente interpretación “*es el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades*”; indicando de esta forma, la compatibilidad entre la dimensión económica y social para incentivar un adecuado manejo de los recursos naturales, y así cumplir con los objetivos del desarrollo sostenible que se plantearon por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Este y otros comités a nivel global cambiaron el paradigma del consumo desmedido a la formulación de nuevas alternativas de desarrollo que van mucho más allá de los modelos económicos tradicionales y se fundamentan en la sostenibilidad, término que, según el informe de Brundtland, está referido a una “*determinada actividad o acción que es capaz de ser mantenida indefinidamente*” (ONU, 2002)

En 1996, la conferencia de la Organización de Naciones Unidas (ONU), respecto a los asentamientos humanos, formuló la Agenda Hábitat II que habló del papel que desempeñaba la construcción en el desarrollo sostenible. Esto es necesario, pues la industria de la construcción y sus respectivas actividades producen un sin número de desechos que provienen del continuo desperdicio de madera, minerales, agua, energía y demás componentes para el desarrollo de las edificaciones; tanta importancia tomó esta problemática que fue incluida en el capítulo siete de la sección G de la Agenda 21 el término de “*construcción sostenible*”. Este concepto se define como la “*condición para que la industria de la construcción y las edificaciones respondan en pro de un desarrollo sostenible a partir de diversos aspectos ambientales, sociales, económicos y culturales.*” (ONU, 2002).



La Conferencia Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible organizada por la ONU en Río de Janeiro en 1992 definió, en el capítulo siete de la sección I de la Agenda 21, el concepto de “materiales sostenibles” como la manera en la que *“los países deben promover las industrias que utilicen materiales de construcción autóctonos (que tienen por base recursos naturales de los que se disponga en la localidad)”*, diseño y tecnología eficiente energéticamente para desarrollar edificaciones que reduzcan los efectos de la degradación del medio ambiente. Este tipo de materiales deben provenir de fuentes renovables (ONU, 2002).

A partir de lo anterior, es importante entonces definir la unidad de planificación para la adecuación de modelos de construcción sostenibles en los asentamientos humanos, definidos por la ONU como *“las estructuras formadas por elementos físicos y servicios a los cuales dichos elementos suministran apoyo material. los componentes físicos comprenden las edificaciones, es decir, las superestructuras de distintas formas, tamaños, tipos y materiales construidas por el hombre para tener seguridad, intimidad y protección de la intemperie y para destacar su singularidad dentro de una comunidad; y la infraestructura, es decir las complejas redes concebidas para hacer llegar a las edificaciones o retirar personas, mercadería, energía o información”* (ONU, 2002).

Llama la atención el caso particular del hábitat palafítico, desde el siglo XVII, las comunidades indígenas nativas del noroeste de Colombia construían sus viviendas sobre palafitos que son *“viviendas apoyadas sobre estacas generalmente de madera, sobre las cuales se apoya una plataforma que sostiene todo el cuerpo de la vivienda y la cubierta”*. La mayoría de estos hogares, se encuentra en lagunas, ríos, lagos, zonas pantanosas, orillas del mar y entornos lacustres (casas situadas directamente sobre el agua) que presentan aguas tranquilas. Los asentamientos palafíticos, comenzaron a desarrollarse con el fin de aprovechar la infraestructura natural del agua, establecerse en una vía estratégica de comunicación o bien como forma de protección. Estas infraestructuras son construidas por habitantes de la zona y se caracterizan por tener muros fabricados a partir de madera, techos en hojas de palma o tejas y estacas (apoyo de la casa) elaboradas a partir de árbol de mangle, bambú y palma de moriche (Invemar, 2014).

Las construcciones artesanales que presentan los palafitos, no han sufrido modificaciones considerables desde los primeros asentamientos; se conservan las técnicas y materiales de construcción tradicionales basadas en el sentido común y el respeto por el medio ambiente (Invemar, 2014). Los habitantes de los palafitos, deciden realizar sus hogares a partir de madera, debido a que presenta las siguientes características:

- Aislación Acústica: Tienen la capacidad de reducir las vibraciones sonoras y a partir de su estructura celular porosa transforma la energía sonora en calórica.
- Aislación Eléctrica: Buen aislante eléctrico, pero puede verse afectado debido al aumento de la humedad.
- Humedad: Almacena grandes cantidades de humedad (Invemar, 2014).

Una parte esencial del desarrollo comunitario es el acceso a agua de calidad, en el transcurso de la historia, el ser humano ha desarrollado diversos mecanismos (alcantarillado, presa, bomba de agua, acueducto, grifos y demás) para abastecer las comunidades del recurso hídrico, debido a la variedad de funciones que cumple en el desarrollo de una comunidad. Por esta razón, los cabildos que habitaron el territorio colombiano, se acentuaban en zonas aledañas a ríos, lagos, lagunas y demás espacios que presentaban hasta el más mínimo abastecimiento. Tanto así que en el siglo VII a.C. ya existían comunidades con **sistemas de abastecimiento de agua** “que consistían en un conjunto de obras que se ejecutaban para captar, conducir, tratar, almacenar y distribuir el agua desde fuentes naturales ya



sea subterráneas o superficiales hasta las viviendas de los habitantes” (Jaramillo & Guaraca, 2010) que de una forma u otra mejoraron la calidad de vida, salud y el desarrollo de la población.

El Sistema de Captación de Agua Lluvia y la Evapotranspiración son un claro ejemplo del sistema de abastecimiento de agua, por que involucran un recurso natural escaso que puede ser tratable a partir de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el consumo humano y así reducir la explotación de los ríos, lagos y demás zonas que actualmente se ven afectadas por el continuo uso (Jaramillo & Guaraca, 2010).

El objetivo de este proyecto investigativo es proponer una estructura capas de abastecer de agua potable a una parte de la población. El **agua potable** es definida como “*el recurso hídrico que puede ser consumido sin restricción debido a que, gracias a un proceso de potabilización, no representa un riesgo para la salud*” (EPAS, 2019). De acuerdo a la resolución 2115 del 2007 se establecen los límites máximos permisibles de las características físicas, químicas y microbiológicas para el agua de consumo humano, algunas son: sulfatos, fosfatos, pH, conductividad, dureza total y cloruros.

Uno de los elementos que se pueden incorporar en los nuevos sistemas de abastecimiento hídrico son los **compuestos** o **compositos**; son materiales que se encuentran constituidos por dos, o más componentes que a partir de sus propiedades, mejoran las características del mismo material por separado (Santiago, Marin, & Fernandez, 2003). El primer composito fue sintetizado por Ray Bowen en 1962, estaba formada por una fase de “polímero blando de una resina orgánica, el bis-GMA (bisfenol glicidil metacrilato), dispersa en esta matriz se encontraba una segunda fase de partículas de cerámica inorgánica originalmente cuarzo y un agente de acoplamiento o silano” (Hue & Bosch, 2004), en ese momento fue usado como sellador de fosas y fisuras, cementación de otras prótesis fijas y adhesivos para frentes estéticos de porcelana, la vida media de éstos compuestos se calcula de los 7 a los 10 años (Mora, Ramon, & Valencia, 2013). Los compositos, se caracterizan por estar reforzados por partículas o fibras como se muestra a continuación:

Tabla 2. Clasificación de compositos

Compuestos	Reforzados con Partículas	Partículas Grandes	
		Consolidados por Dispersión	
	Reforzados con Fibras	Continuos (Alineados)	
		Discontinuos (Cortos)	Alineados
			Orientados Aleatoriamente
	Estructurales	Laminados	
Paneles Sandwich			

Fuente: Modificado de (Santiago, Marin, & Fernandez, 2003)

A partir de diferentes investigaciones, se ha demostrado la eficiencia de las fibras naturales para disminuir los tiempos de degradación de la resina polimérica, reduciendo así la contaminación por acumulación de residuos sólidos. Este tipo de elementos sintéticos en la mayoría de las ocasiones presentan mejor rendimiento, resistencia compresiva, fuerza de tensión al desgastarse, fractura y brindan estabilidad. El principal requisito de un biocomposito es entonces la **biocompatibilidad**, concepto que se define como “*la habilidad de un material de actuar con una respuesta adecuada del entorno natural con las cualidades de mejoramiento que se ha brindado a partir de la ingeniería de materiales*” (Aznarez, 2012).



Los **biocompositos** son materiales reforzados con fibras naturales (Tabla 2). Se basan en la combinación entre una matriz principal (comúnmente un polímero) y una fase difusa correspondiente al tejido vegetal (Fazeli, Florez, & Simão, 2019). Para este caso particular, la matriz polimérica es el Polietileno de Baja Densidad (PEBD) que se obtuvo de Sevilla, Zona Bananera de Colombia. Es un termoplástico olefínico² conformado por cadenas ramificadas de etilenos (Gonzalez, Ramsay, & Favis, 2003).

Para la elaboración del biocomposito, el polietileno de baja densidad será combinada con fibras vegetales de la planta de banano. El banano (*Musa spp.*) es una planta monocotiledónea, herbácea³, de tallo aéreo no leñoso, con un pseudotallo cónico (3,5-7,5m de altura), formado por hojas curvadas que se comprimen en bandas en espiral desde el centro. De allí emergen las hojas como un cilindro enrollado. Una vez la planta ha producido el 50% de sus hojas, se genera al raquis o vástago el vástago, va desde el primer fruto hasta las flores masculinas en la yema (Bau, 2016; Cano & Martínez, 2015).

Estado del arte

Son pocas las comunidades palafíticas a nivel global, sin embargo, existen varios ejemplos de la planificación para el desarrollo de las comunidades de entornos lacustres. A pesar de que los primeros palafitos se establecieron en los poblados lacustres de suiza, ya no se encuentran activos y su número va en descenso a nivel mundial (Anexo 4), en América es sobresaliente el manejo arquitectónico y de carácter patrimonial que se les ha dado a los palafitos chilenos de la provincia de Chiloé, los palafitos Pedro Mont están acoplados al hábitat urbano de la ciudad de Castro, la arquitectura actual está basada en los vestigios de los palafitos antiguos y se centran en el mejoramiento de las construcciones para servicios turísticos de gran escala dotados desde los años 90 con agua potable y alcantarillado (González Smith, 2013).

Otros palafitos en las Américas de importancia cultural son los de la laguna de Sinamaica y el Lago de Maracaibo, ambos en Venezuela, uno de los hábitats lacustres mejor preservados en el mundo. En Perú están ubicados en el barrio Belén de Iquitos en la Amazonía y en Honduras unas 5000 personas viven en los palafitos de la isla Guanaja, otros palafitos activos en el mundo se encuentran de Malasia, Camboya y Myanmar en el Sureste Asiático (González Smith, 2013).

Uno de los más representativos a nivel mundial es la escuela flotante de Makoko en Lagos, Nigeria, uno de los barrios más vulnerables de la ciudad africana que tiene la característica de ser un asentamiento palafítico. La escuela no está anclada directamente en tierra por lo que reduce su estado de vulnerabilidad a los cambiantes niveles del agua, capta el agua de precipitación para el saneamiento básico, posee sistemas de ventilación natural y zonas verdes en la primera planta (González Smith, 2013), es por ende el ejemplo más acertado para tratar el tema de sostenibilidad socio-ambiental en los ambientes lacustres.

Nueva Venecia sin embargo es de los escasos palafitos activos sin ningún acceso directo desde tierra (González Smith, 2013), el único de su tipo en la región, si bien esta condición única dificulta la implementación de tecnologías sanitarias, hace del corregimiento una zona de interés cultural de gran importancia para el Caribe colombiano que debe ser preservada. Esto incluye los modelos de abastecimiento hídrico que actualmente tiene la comunidad. Para el presente proyecto se planteó un

² Compuesto de hidrocarburo con uno o más enlaces dobles o triples en una cadena lineal derivado de la polimerización de olefinas

³ Sus partes aéreas mueren y caen al suelo cuando termina la estación del cultivo.



sistema de captación de agua por medio de la incorporación de residuos poliméricos y vegetales (derivados de la zona bananera) en un biocomposito diseñado para este fin.

Los biocompositos comenzaron a ser implementados en los procesos industriales y constructivos a nivel mundial, ya que poseen baja densidad y buenas propiedades mecánicas que permiten el diseño de piezas y elementos que presentan altos índices de resistencia (Tembleque, Buroni, & Sáez, 2013). Así mismo, estos se presentan como una alternativa viable al tratamiento de sustancias poliméricas ya existentes y su adecuación en materiales, para la disminución de la cantidad de residuos sólidos plásticos que no son aprovechados (Hue & Bosch, 2004).

A nivel nacional, en la Universidad del Quindío (en el año 2006), se obtuvieron aglomerados lignocelulósicos extraídos de guasca de planta, tripeperro y pasta elefante, con el fin de comparar sus cualidades de flexibilidad, tracción, absorción de agua y comprensión con el extracto de la madera comercial. Para esto se mezclaron los cuatro extractos con una resina termoestable y se trabajó bajo las normas de Estándares Internacionales de la Red Mundial (ATSM) para tableros de partículas de madera. Dando como resultado un adecuado comportamiento de pasto elefante como aislante térmico y el aglomerado de guasca de plátano como un buen impermeable, por lo que se resaltan los dos como posibles aplicaciones en construcción de muebles, paneles de separación, cielorrasos e incluso para ambientes húmedos en el caso de la guasca (Gaitan, Fonthal, & Calderon, 2016)

Otro ejemplo realizado en Colombia que demuestra la investigación constante en el tema de biocompositos, es el realizado por Javier Mora y Bladimir Ramón, para evaluar las fibras naturales de damagua (poulsenia armata), güérregue, palma estera (*Astrocaryum malybo*), caña flecha (*Gynerium sagittatum*) e iraca (*Carludovica palmata*), mediante el análisis térmico, mecánico y morfológico. Que tenían como fin determinar el desempeño de cada material a temperaturas drásticas a partir del uso de técnicas de termogravimetría. En donde, el material con mayor desempeño fue el de la fibra de guerregue y caña flecha (Mora, Ramon, & Valencia, 2013).

Enfocado a los bioplásticos a base de plátano, el trabajo de investigación *Compuestos de Poliéster Reforzados con Fibra de Plátano/Banano (Musa paradisiaca) Modificada Químicamente. Comparación con Fibra de Vidrio y Fique (Furcraea andina)*, muestra la preparación de las fibras poliméricas obtenidas de la combinación de fique y fibra de vidrio con el pseudotallo del plátano en el departamento del Valle del Cauca. Esto debido a que “Colombia es uno de los mayores productores en el mundo de banano y plátano (*Musa paradisiaca*), productos en los que actualmente más del 85% de su biomasa es desperdiciada en zona de cultivo. Gran parte de estos materiales son potencialmente aprovechables para la extracción de las fibras del pseudotallo de plátano, de características similares a las de fique (*Furcraea andina*) y el yute” (Rodríguez, Sarache, & Orrego, *Compuestos de Poliéster Reforzados con Fibra de Plátano/Banano (Musa paradisiaca) Modificada Químicamente. Comparación con Fibra de Vidrio y Fique (Furcraea andina)*, 2014).

Las fibras tejidas de plátano se mezclaron con epiclorhidrina⁴ y anhídrido acético⁵, y fueron posteriormente combinadas con una resina de poliéster insaturada ortoftálica⁶ y el catalizador de Peróxido de Benzoilo⁷, se disolvieron todos los productos en acetona⁸ 1:10 durante 24 horas a 20°C para su posterior secado en horno a 105°C por otro día. Se realizaron estudios de tensión, impacto,

⁴ Compuesto organoclorado con un grupo epoxi, moderadamente soluble en agua. C₃H₅ClO (Solvay, 2015).

⁵ (CH₃CO)₂O anhídrido carboxílico estable que es usado para la acetilación (Solvay, 2015).

⁶ Resina insaturada de viscosidad media promovida con amina (Plainsur, 2006).

⁷ Compuesto orgánico que es derivado de la unión de dos grupos benzoilo con un grupo peróxido C₁₄H₁₀O₄ (pediamecum, 2015)

⁸ Disolvente orgánico que es obtenido a partir del acetato de calcio y el ácido acético CH₃(COCH₃) (Winkler, 2007).



absorción de agua y microscopía electrónica de barrido o SEM por sus siglas en inglés. En este proyecto se encontró un aumento en las propiedades hidrofílicas, gracias a su efecto combinado de los grupos OH productos de la acetilación y entrecruzamiento por el anhídrido acético y la epiclohidrina (Rodríguez, Sarache, & Orrego, Compuestos de Poliéster Reforzados con Fibra de Plátano/Banano (*Musa paradisiaca*) Modificada Químicamente. Comparación con Fibra de Vidrio y Fique (*Furcraea andina*), 2014).

La lignocelulosa presente en las células de la planta de plátano posee celulosa, hemicelulosa, lignina, pectina, cera y componentes hidro-solubles. Su estructura y combinaciones son inmensamente complejas y se distribuyen en dos paredes de macromoléculas, sus reacciones químicas con fibras poliméricas le confieren al tejido biodegradabilidad, termoplasticidad y estabilidad en ambientes húmedos, debido a la asociación lignocelulósica de naturaleza higroscópica (Burgos & Cuervo, 2010). Cualidades que fueron estudiadas en la sede Manizales de la Universidad Nacional de Colombia, en donde se mezclaron nuevamente las fibras del pseudotallo del plátano, pero esta vez con plasma a tres descargas de barrera dieléctrica llamadas DBD. Se caracterizaron mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier, termogravimetría, microscopía electrónica de barrido y pruebas mecánicas de tensión y humectabilidad. Allí se identificó una pérdida significativa de lignina, hemicelulosa y ceras vegetales, debido a las reacciones de grupos hidroxilos y líneas de carbono que incrementaron la hidrofobicidad de los tejidos tratados, el plasma logró reducir la rigidez y le agregó la elasticidad que la epiclohidrina por sí sola no es capaz de brindar (Rodríguez, Fanguero, & Orrego, 2015).

Otra alternativa es el tratamiento alcalino, especialmente en este tipo de materiales, disminuye las propiedades mecánicas de la fibra debido a la remoción de las moléculas de lignina y hemicelulosa en la superficie del tejido vegetal, sin embargo, mejora las cualidades hidrofílicas del material (Osorio, Baracaldo, & Florez, 2012). Le agrega también rugosidad a la superficie, el diámetro de las fibras es proporcional al módulo de Young y a su resistencia mecánica. Para el tratamiento alcalino las fibras de plátano fueron mercerizadas, modificadas con NaOH al 5% (m/v), lavadas con detergente alcalino al 2% y secadas a 70°C por 24 horas para la remoción de humedad externa. Para la extracción de celulosa se utilizó una mezcla de etanol y benceno 1:2 por seis horas seguido del tratamiento con NaOH y el secado posterior a 110 °C (Rodríguez, Fanguero, & Orrego, 2015).

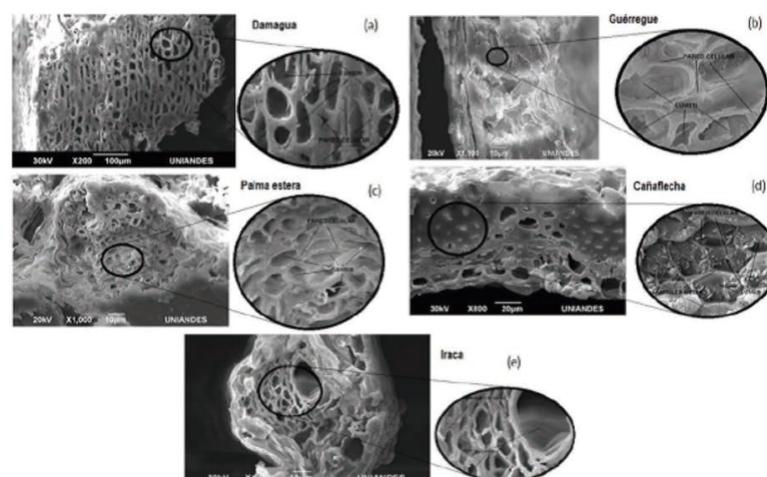


Figura 4. Morfología de los tejidos naturales

Fuente: (Rodríguez, Fanguero, & Orrego, Efecto de tratamientos químicos y de plasma DBD en las propiedades de fibras delseudotallo de plátano, 2015)



En la tesis doctoral Efecto del Ambiente Marino en Edificaciones de Segunda Residencia en la Costa Valenciana, el arraigo de la tradición constructiva pone en manifiesto que no se ha presentado suficiente atención a los efectos del ambiente marino en la durabilidad de las edificaciones, lo que ha favorecido la existencia de estructuras de hormigón con recubrimientos de armaduras inapropiadas, generando daños a nivel núcleo urbano y continuas intervenciones de tipo estructural (Moreno, 2016). Aunque la cantidad total de sal en agua de mar es habitualmente de unos 35 g/L, su composición varía entre cloruro sódico (NaCl), cloruro magnésico (MgCl₂), sulfato magnésico (MgSO₄), sulfato cálcico (CaSO₄), cloruro potásico (KCl) y sulfato potásico (K₂ SO₄). La presión hidrostática actúa como una fuerza que conduce al agua al interior de cualquier estructura marina que se encuentre sumergida. A mayor profundidad, mayor será la presión hidrostática y su vez, mayor será el potencial corrosivo (Jensen Gómez, 2014).

A nivel regional, el proyecto de grado denominado Hábitat Resiliente en el Corregimiento de Tasajeras: Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM), identifico un inadecuado desarrollo de las edificaciones que se encuentra en la zona. Debido a los elementos constructivos de las viviendas basadas en concreto, madera, bahareque y elementos reciclables, tienden corroerse fácilmente por la elevada salinidad en la ciénaga (Acero & Mahecha, 2016).

Con el fin de gestionar los procesos constructivos en el cuerpo de agua, para 2011 se realizó la modelación de los balances hídricos de las lagunas costeras del país incluyendo la CGSM, en donde se determinó la integración entre ciénagas aledañas como la Zapatos, La Rinconada y el complejo lagunar de Pajarales (Espinosa, y otros, 2005; Granados, Camacho, & Maestre, 2001), obteniendo las dinámicas de corrientes apoyadas de coeficientes hidrológicos resultado de esta modelación. Resaltando los proyectos inconclusos (hasta la fecha) de Aguas del Magdalena, en donde se propuso la construcción del sistema de acueducto y alcantarillado en los corregimientos de Nueva Venecia y Buenavista (Sarmiento, 2015). Otro resultado fue el análisis de los compuestos organoclorados y la estructura de su sedimentología en los años 1995 y 2006 respectivamente. Para el primero se analizaron las concentraciones de seis residuos de plaguicidas organoclorados, en donde se encontraron restos de lindano⁹, heptacloro¹⁰ y pp'DDE¹¹ (Granados, Camacho, & Maestre, 2001), altamente tóxicos para las comunidades biológicas y que afectan a los sedimentos de los cuerpos hídricos. Por otra parte, Gladys Bernal y Juliet Betancur realizaron el análisis granulométrico, mineralógico, de materia orgánica, calcimetría, difracción de rayos X y química de sales en la CGSM. En el estudio se identificó el contenido de cuarzo en la mayor parte de los sedimentos interiores del sistema lagunar (valores entre 39.5 y 59.8%), y la distribución de piroxenos¹² en los sedimentos estudiados no muestra dominios especiales (Bernal & Betancur, 1996).

El proyecto arquitectónico del hábitat resiliente en el corregimiento de Tasajeras, realizó una adecuación arquitectónica del modelo constructivo propio del habitante de la ciénaga con la propuesta de adecuación de un sistema de tratamiento de vertimientos y un diagnóstico de la especialización de los centros poblados de la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM), para potencializar las actividades culturales, pesqueras, turísticas y de transporte de personas en los cuatro corregimientos de Nueva Venecia, Buenavista, Rincón de la China y Trojas de Cataca. Para esto se plantearon un total de cuatro planes de construcción de viviendas palafíticas convencionales, con acceso a puertos ribereños. Además de la adecuación a inundaciones de la infraestructura principal del pueblo como: plazas de mercado e iglesias; en el proyecto no se menciona la intención de trabajar con fibras naturales no

⁹ Fármaco hectoparasiticida y Halogenuro de alquilo. C₆H₆Cl₆. (Vademecum, 2015)

¹⁰ Plaguicida toxico prohibido por el convenio de Róterdam. C₁₀H₅Cl₇. (European Chemical Agency , 2007).

¹¹ El Diclorodifenildicloroetileno es un compuesto formado a partir del DDT, insoluble en agua (Cameo, 1992).

¹² Silicatos formados por cadenas simples de tetraedros.



ornamentales para su adecuación constructiva, del mismo modo, en el corregimiento de Tasajeras se propone un prototipo de vivienda palafítica con fines netamente decorativos (Acero & Mahecha, 2016).

VIII. Metodología

A continuación, se presenta el capítulo metodológico que será ejecutado de acuerdo a los objetivos de investigación propuestos anteriormente. En primera instancia, se describe de manera general el diseño metodológico de la investigación, correspondiente a un estudio de caso para la propuesta de un sistema de abastecimiento de agua potable, basado en la utilización de nuevos materiales elaborados por medio de subproductos propios de actividades productivas del norte del Magdalena. Posteriormente se encuentra de manera particular cada uno de los objetivos que describirán las técnicas de recolección, análisis e interpretación de los respectivos resultados.

1. Enfoque

Con base en la naturaleza de los datos, la propuesta se clasifica como un estudio mixto debido a que abarca todos los ámbitos de la sostenibilidad social; económica y ambiental, comenzando la investigación con el análisis de intereses comunitarios como variables cualitativas a partir de la implementación de nuevos materiales, y variables cuantitativas desde la calificación de las propiedades físico-químicas.

2. Alcance

El alcance de la presente investigación es principalmente descriptivo, debido a que trata a profundidad un caso de estudio específico y busca generar una propuesta de mejoramiento del sistema de abastecimiento de agua potable actual.

3. Diseño metodológico

Este proyecto investigativo, presenta un diseño metodológico de estudio de caso, porque los resultados de la investigación van dirigidos a la solución de una problemática específica en un entorno particular, por lo que los resultados investigativos son válidos netamente en la zona de estudio para el caso puntual de Nueva Venecia.

4. Método

Como método de investigación, se plantea una propuesta analítica debido a que la problemática se enfatiza en la relación causa-efecto de la situación hídrica actual (parámetro que fue establecido a partir del análisis de la comunidad y sus respectivas problemáticas) de Nueva Venecia, Magdalena y busca el análisis de los factores socioambientales que intervienen en los procesos de abastecimiento de agua que ha adaptado la comunidad para su bienestar, y como pueden ser implementados nuevos modelos para mejorar el sistema de abastecimiento.

A continuación, se presenta de manera específica el desarrollo metodológico por cada uno de los objetivos específicos propuestos en esta investigación.



Objetivo específico 1

Diagnosticar las condiciones socio-ambientales del corregimiento de Nueva Venecia, Magdalena

El presente objetivo, busca recolectar la información pertinente para realizar un diagnóstico del actual modelo de abastecimiento de agua potable y la dinámica social que presentan los habitantes de Nueva Venecia; con el fin de que la comunidad aporte de manera significativa en la propuesta de un nuevo método de abastecimiento, que sirva como mecanismo de apropiación y participación comunitaria, que, a su vez, reduzca costos y mejore la calidad del recurso hídrico.

1. Enfoque

Para el cumplimiento del Objetivo Específico número uno (1), se establece un enfoque metodológico mixto, debido a la característica de sus variables recolectadas a partir de entrevistas y encuestas cualitativas que permiten desglosar la información recolectada en un análisis estadístico cuantitativo y semicuantitativo. De la misma forma, para este enfoque, se tomó un registro fotográfico de la zona de estudio.

2. Alcance

Este objetivo, tiene un alcance metodológico explicativo, ya que describe los fenómenos relacionados con las condiciones específicas del actual modelo de abastecimiento a partir de la revisión bibliográfica realizada, análisis fisicoquímicos del recurso hídrico y las respectivas observaciones que se identificaron en la visita de campo. Cada uno de estos datos evidenciaron las problemáticas ambientales de Nueva Venecia que giraban en torno al agua potable.

3. Diseño metodológico

El diseño metodológico para el objetivo específico número uno (1), es de Investigación Acción Participativa (IAP), debido a que se analiza el modo de vida de una unidad social concreta como agente de acción y no un simple objeto de estudio; dado que la comunidad se encarga de brindar información pertinente para la toma de decisiones.

4. Técnicas e instrumentos de recolección de la información

Los datos recolectados para el cumplimiento de este objetivo provienen del resultado de percepciones, interacciones y vivencias, que se derivan de los procesos de adaptabilidad al territorio como fenómeno determinante de la relación entre la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) y la comunidad.

4.1. Revisión Bibliográfica

Como revisión inicial del estado actual del territorio de estudio, se incluyen en este apartado informes, libros, bases de datos, documentos técnicos, gubernamentales de orden municipal, departamental y planes de ordenamiento territorial para obtener información relevante que contribuya al entendimiento de las dinámicas territoriales y del territorio como medio de vida. Así mismo, a partir de esta investigación bibliográfica se analizaron de forma general las problemáticas socio ambientales de los habitantes de Nueva Venecia.

4.2. Observación Participativa

Para este proyecto investigativo, se determinó como método de recolección de información la observación participativa; porque se obtuvieron los datos a partir de la comunicación e integración de forma directa con la comunidad. De acuerdo con lo anterior, se determinó la observación de tipo científica debido a que demuestra que el observador cuenta con un objetivo claro, definido y preciso que ayuda a reconocer las variables que deben ser profundizadas (Sanjuan, 2011).



Así mismo, se realizaron diferentes instrumentos de participación, como notas de campo con cuadros, tablas, elementos resaltados con sus respectivas fechas, zona de estudio, tema principal y otros parámetros que determinaron una observación sistemática (Sanjuán, 2011). También, se tuvo en cuenta la evidencia fotográfica y las grabaciones; que corresponden a la observación de las prácticas tradicionales y su impacto en los componentes ambientales, la relación la relación de codependencia con la Ciénaga, las dinámicas culturales del palafito y los procesos propios de la actividad bananera.

En el Anexo 5, se encuentra el cronograma que se tuvo en cuenta para la práctica de campo con las respectivas actividades. Esta práctica se llevó a cabo en la población palafítica de Nueva Venecia y en la Zona Bananera de Magdalena del 7-10 de diciembre de 2018.

4.3. Aplicación de entrevistas

Las entrevistas, son una técnica de recolección de información, que es desarrollada de forma oral y personalizada sobre acontecimientos, experiencias y opiniones entre dos (2) personas como mínimo. Una de ellas cumple el rol de entrevistador y la otra de entrevistado, generando así una interacción entre una temática de estudio (Bertomeu, 2010), es decir, a partir de una guía temática que consiste en realizar preguntas abiertas, se incentiva a una libre expresión por parte del informante, para lograr respuestas que puedan derivar a otras problemáticas relacionadas con temas distintos (Bravo, García, Hernandez, & Ruiz, 2013).

A pesar de que previo a la visita a la zona de estudio se planeó un conjunto de preguntas, para realizar una entrevista semiestructurada (Anexo 6), durante la salida de campo fue necesario realizar entrevistas no estructuradas, que se caracterizan por no tener una guía pre establecida. Así mismo, este tipo de entrevistas, se caracteriza porque los entrevistadores desarrollan las preguntas a medida que el entrevistado establece las respuestas (Bertomeu, 2010).

El grupo de estudio fueron ocho (8) personas por individual en periodos de una (1) hora con consentimiento previo informado, que fueran mayores de 18 años, nacidos en Nueva Venecia y que vivieran allí, considerados como parte importante de la comunidad y que pudiesen transmitir su experiencia para la socialización del proyecto; de igual manera se realizó la entrevista a dos (2) miembros de la producción bananera en la Ciénaga, que ayuden a complementar las estrategias para la recolección y tratamiento de la materia prima, y su importancia a nivel regional. De acuerdo con lo mencionado anteriormente, a continuación, se presentan los nombres de las personas entrevistadas:

- Temy Melendez (Líder Comunitario)
- Erolinda Castillo Suarez (Bongo)
- Jesús Suárez (Invemar)
- Amalfi Castillo (Pescador)
- Giovanni Rodriguez (Comisario)
- Jose Julio Donado (Concejal)
- Nancy Gutierrez (Enfermera)
- Yolanda Castro (Tienda y Captación de agua lluvia)
- Willian Barelo (Bananero)
- Juan Vaca Guerrero (Empresa de reciclaje)

Para finalizar, se desarrolló un reporte de cada una de las sesiones realizadas que incluye los datos sobre los participantes, las fechas, la duración de la sesión, la información destacada durante la misma y observaciones de los entrevistadores con sus respectivos resultados.



4.4. Encuestas estructuradas

Como instrumento cuantitativo estructurado se aplicaron encuestas a una muestra poblacional de 20 habitantes del corregimiento con preguntas concretas que ayudaron al entendimiento de la territorialidad y las necesidades más urgentes, enfocadas al abastecimiento de agua potable. Se desea percibir si se considera el agua potable como una necesidad insatisfecha y si coincide la información bibliográfica recolectada con la situación actual de la comunidad. Cabe destacar que las encuestas se hicieron mediante entrevistas personalizadas debido a las características de la población y el tipo de preguntas realizadas. El formato de la encuesta se encuentra en el Anexo 7.

4.4.1. Determinación del tamaño de la muestra poblacional

La muestra poblacional considerada en este proyecto de investigación, se realizó a partir del cálculo matemático, que se obtuvo por medio de la Ecuación uno (1); La cual, considera variables que son establecidas para datos cualitativos que permiten determinar una muestra poblacional considerable con respecto a la totalidad de habitantes.

$$n = \frac{N \times Z\alpha^2 \times p \times q}{d^2 \times (N - 1) + Z\alpha^2 \times p \times q} \quad (1)$$

Donde:

n= es la muestra poblacional

N= tamaño de la población

$Z\alpha^2$ = nivel de confianza deseada $1,96^2$ (debido a que la seguridad es del 95%=0,95)

P= proporción esperada (en este caso es del 50%=0,5)

q= 1-P (lo cual indica $1-0,5=0,5$)

d= precisión absoluta o error (en este caso es del 5%=0,05)

De acuerdo con los datos establecidos por las investigaciones realizadas, el pueblo palafítico de Nueva Venecia, Magdalena cuenta con 3.000 habitantes que están distribuidos en 400 casas aproximadamente (Gnecco, 2018).

Reemplazando los datos en la Ecuación uno (1) la muestra poblacional correspondiente es de 341 habitantes, pero por limitantes, principalmente de tiempo y disponibilidad se tomó una muestra de 20 personas, ya que la práctica en campo fue realizada en feriados (diciembre 6 del 2018) y en los horarios establecidos para las respectivas encuestas no había una presencia considerable de habitantes, limitando así de forma significativa el número de participantes.

4.5. Determinación de parámetros de calidad del agua

En la fase de campo se registraron tres (3) puntos (NV, AL y BD), en donde se tomó una muestra de tres (3) litros de agua por cada punto en frascos de vidrio, se rotularon los recipientes y se registró su ubicación en el GPS, en el laboratorio se confirmaron los parámetros de Sólidos Totales, Alcalinidad, Fosfatos, Sulfatos, Dureza Total, Cloruros, pH y Conductividad de acuerdo a lo establecido en la resolución 2115 del 2007.

4.5.1. Recolección de muestras hídricas

Se tomaron muestras de tres (3) puntos elegidos aleatoriamente teniendo en cuenta el protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua del IDEAM (2007), distribuidos de la siguiente manera: el primero en el corregimiento de Nueva Venecia (NV), un segundo derivado de la recolección de agua lluvia (AL), y uno final en la bocatoma del caño de abastecimiento actual que fue denominado para el desarrollo de este proyecto como (BD) Bongoducto.



4.5.2. Determinación de Sólidos Totales

Los sólidos totales (ST) se definen como la materia sólida tanto suspendida como disuelta presente en el agua, para su determinación se tomaron 100 mL de cada muestra (NV, AL y BN) y con ayuda de un papel filtro se decantaron en tres (3) vasos de precipitados; cada papel filtro se secó a 100°C ($\pm 5^\circ\text{C}$) en un crisol que fue colocado en la estufa durante 24 horas y se determinaron por diferencia gravimétrica la cantidad de sólidos suspendidos totales (SST) presentes en cada muestra (en mg/L); los sólidos que persistieron en el vaso de precipitados se definen como sólidos filtrables o disueltos totales (SDT) y para su determinación se tomó la muestra filtrada y se llevó a ebullición en un crisol con masa conocida. Después de la ebullición de toda el agua que quedó en el vaso de precipitado; se procedió a determinar por diferencia gravimétrica la cantidad de SDT presentes en cada muestra (en mg/L) (Gomez, 1993).

Para la determinación de los Sólidos Fijos presentes tanto en SST y SDT se llevaron los 3 papeles filtro del ensayo de sólidos suspendidos y los tres crisoles del ensayo de sólidos disueltos a calcinación a 550°C en una mufla de calentamiento. Los sólidos residuales en el crisol fueron los sólidos fijos (SSF y SDF) y por diferencia gravimétrica se calcularon sólidos volátiles (SSV y SDV).

Para su determinación se tuvieron en cuenta las siguientes ecuaciones:

$$ST = SST + SDT \quad (2)$$

$$SST = SSF + SSV \quad (3)$$

$$SDT = SDF + SDV \quad (4)$$

4.5.3. Determinación de Fosfatos

Se realizó a partir del kit de aguas *MColorTest P* mediante la determinación colorimétrica de ortofosfatos ($\text{PO}_4\text{-3}$) que forman iones molibdato ácido molibdofosfórico reduciéndose a azul de fosfomolibdeno o PMB determinado cuantitativamente con una paleta de colores. Para la preparación de las muestras se tomaron 10 mL de cada una y se agregan 10 gotas del reactivo $\text{PO}_4\text{-1}$ y diez (10) gotas del reactivo $\text{PO}_4\text{-2}$ dejando reposar durante 10 minutos para su determinación colorimétrica en una escala de concentración de P_2O_3 en ppm (Merck, 2019).

4.5.4. Determinación de Sulfatos

Se determinaron con un kit de aguas *MColorTest* mediante la determinación de los iones sulfatos (SO_4^{2-}) que reaccionan con el yodato de bario, liberando así iones yodato en el proceso medido semicuantitativamente por comparación visual en una paleta de colores. Para su preparación se tomaron 2,5 mL de cada muestra y se le agregaron 2 gotas del reactivo $\text{SO}_4\text{-1}$ y una microcuchara del reactivo $\text{SO}_4\text{-2}$, se mezclaron y calentaron a 40°C durante 5 minutos. Después se adicionaron a cada muestra 2,5 mL del reactivo $\text{SO}_4\text{-3}$ y se filtró el contenido para agregar posteriormente cuatro (4) gotas del reactivo $\text{SO}_4\text{-4}$, se calentó de nuevo a 40°C durante siete (7) minutos y se realizó una comparación visual colorimétrica para determinar concentración de SO_4^{2-} (en mg/L) (Merck, 2019).

4.5.5. Determinación de la Dureza Total

La Dureza se define como el contenido de agua en iones de calcio (Ca^{2n}) e iones de magnesio (Mg^{2n}). Así mismo, la Dureza Total se relaciona con el contenido en sales de los metales alcalinotérreos como calcio, magnesio, estroncio y bario. Las unidades para la dureza pueden ser mmol/L de CaCO_3 , mg/L de CaCO_3 o mg/L de Ca. El método inicia cuando los iones calcio y magnesio forman un complejo de colores rojos que libera el indicador al valorar con una solución de dihidrato de la sal disódica que proviene del ácido etilendinitrilotetraacético para tomar un viraje verde. Para identificar la Dureza



total, se tomaron 5 mL de las muestras de agua (NV, AL y BN) y se adicionaron tres (3) gotas del reactivo H-1 para luego agitarlo y que la muestra vire a una coloración rojiza. Luego de esto se le adiciona el reactivo H-2 gota a gota hasta que pase de un color rojizo a verde pasando por violeta grisáceo (Merck, 2019).

4.5.6. Determinación de cloruros

Se determinó el contenido de cloruros (Cl⁻) mediante su reacción con tiocianato de mercurio (II) dando cloruro de mercurio (II) poco disociado, que forma a su vez iones Hierro (III) y se determinó semicuantitativamente, por comparación colorimétrica en una paleta de colores, mediante un kit de aguas *MColoritest CL*. La metodología a usar, inicia con la adición de 2,5 mL de las muestras de agua (NV, AL y BN) en los respectivos tubos de ensayos, para así continuar con la adición de tres (3) gotas del reactivo CL-1 y CL-2 y luego agitar hasta que tome alguna coloración. Por medio de la tarjeta colorimétrica, se puede reconocer el valor en mg/l de Cloruros (Cl⁻) (Merck, 2019).

4.5.7. Determinación de pH y Conductividad

Se determinó pH y Conductividad mediante un multiparámetro en el laboratorio de química de la Universidad el Bosque Numak, modelo *DZS-708L*.

5. Análisis y procesamiento de la información

Al tomar datos a partir de medios no escritos como grabaciones de audio, videos y registro fotográfico, se realizó un procesamiento de la información. Método que consiste en la preparación de los datos para su respectivo análisis por medio de una transcripción de la información, que busca responder al problema de investigación, objetivos o hipótesis de estudio (Bertomeu, 2010). En este caso, los datos fueron establecidos por una clasificación cuantitativa y cualitativa.

Objetivo específico 2

Elaborar, a partir de residuos vegetales y poliméricos, un material sostenible para uso constructivo de un sistema de abastecimiento de agua potable.

1. Enfoque

El objetivo específico número dos, está relacionado con la selección y evaluación de los materiales para el sistema de abastecimiento de agua potable en Nueva Venecia. Este tiene un enfoque cuantitativo debido a que se encuentra en la fase experimental por la recolección de datos para así obtener resultados netamente cuantitativos.

2. Alcance

El objetivo específico número dos, se caracteriza por ser de alcance exploratorio, ya que busca elaborar un nuevo material que se adapte a las condiciones que el lugar ofrece y a su vez, caracterizar el respectivo material para entender sus propiedades físico-químicas.

3. Diseño Metodológico

Este objetivo, tiene un diseño metodológico cuantitativo experimental, ya que se van a realizar distintas pruebas de tipo ensayo y error, para determinar los materiales adecuados para el sistema de abastecimiento de agua potable.



4. Técnicas e instrumentos de recolección de la información

4.1. Recolección de muestras

Para la síntesis del biocomposito a base de residuos vegetales y poliméricos, se utilizaron dos (2) materiales complementarios, para desarrollar una matriz polimérica basada en el aprovechamiento del Polietileno de Baja Densidad (PEBD) y las fibras naturales del banano (vástago, residuos foliares y pseudotallo de banano). La recolección de ambos materiales (PEBD y fibra de banano) se realizó en la zona bananera, pero el PEBD se tomó en una fábrica de acopio y almacenamiento de residuos plásticos, utilizados para el desarrollo de nuevos materiales; esto se hizo por medio de la adquisición de treinta (30). Las muestras de la fibra de banano se recubrieron con papel periódico seco, debido a que son elementos que almacenan grandes cantidades de agua (Sepulveda, 2014). Las muestras fueron rotuladas con fecha, horas, tipo de muestra y lugar de recolección; en este caso se tomaron en el corregimiento de Sevilla y Guacayamal de la Zona Bananera de Magdalena. La cantidad aproximada recolectada de fibras naturales fue de 5,7 kilogramos (kg) por cada una de las fibras y de polímero fueron 600 gramos (g).

4.1.1. Recolección del material vegetal

Para la recolección de las fibras de banano se analizarán cada uno de los tejidos vegetales susceptibles de aprovechamiento con mayor potencial de producción; el pseudotallo (PT), el vástago (VA) y los residuos foliares (RS). Para el primero se realizó un corte del árbol desde la parte inferior sin afectar la raíz, se recubrieron de papel periódico seco y se almacenaron en bolsas plásticas para su transporte hacia el laboratorio. Los vástagos se recolectaron en el área de procesamiento de los frutos, debido a que es el principal residuo derivado del corte de la fruta, se guardaron y rotularon en bolsas plásticas. Finalmente, los residuos foliares se recolectaron en dos (2) fincas bananeras mediante el corte directo a los árboles desde el final de la hoja, se guardaron y rotularon, todas las muestras vegetales fueron llevadas al laboratorio de química ambiental de la Universidad el Bosque para su procesamiento.

4.1.2. Recolección de Polímeros

Las respectivas muestras, fueron recolectadas en el corregimiento de Sevilla de la zona bananera; lugar donde se encuentra en centro de acopio de PEBD. Las respectivas muestras, fueron empacadas y rotuladas con la fecha, hora, y lugar de recolección.

4.2. Pretratamiento de Materiales

4.2.1. Pretratamiento de la Fibra de Banano

El pretratamiento de las fibras naturales de banano, consistió en identificar la masa inicial del pseudotallo (PT), vástago (VA) y residuos foliares (RS) a partir del uso de una balanza analítica con tres (3) cifras significativas; para continuar con el corte del pseudotallo (PT) y vástago (VA) con unas medidas de 10 cm aproximadamente. Luego de esto se introdujeron las veinte (20) muestras de pseudotallo y vástago en la estufa a (70°C). Este proceso, se caracteriza por presentar una pérdida de humedad que reduce su masa de manera gradual hasta una masa constante. Luego de esto, se redujo el tamaño de las fibras para facilitar su manipulación y se registró su masa (Molina & Vasques, 2014).

4.2.2. Pretratamiento de la matriz polimérica

Para la matriz polimérica se llevó a cabo un proceso sencillo de limpieza y secado de las bolsas de Polietileno de Baja Densidad (PEBD) a temperatura ambiente. Las bolsas fueron cortadas para facilitar su manipulación.



4.3. Elaboración del Biocomposito

Los materiales fueron realizados a partir de las combinaciones entre los tres (3) tejidos derivados de la planta de banano (pseudotallo, Vástago y Residuos Foliare) y el PEBD de los sacos obtenidos en la zona bananera. Para este proyecto de investigación, se estudiaron dos (2) relaciones para el desarrollo del biocomposito: 60% PEBD y 40% de fibra de banano y por otra parte 80% PEBD Y 20% fibra de banano para cada uno de los extractos vegetales. Cada uno de los materiales elaborados, se codificaron con su respectivo nombre y contenido porcentual para su posterior evaluación.

Los materiales fueron realizados a partir de técnicas de síntesis por compresión, que consiste en acoplar la combinación de materiales (PEBD + Fibra Vegetal) en un molde de acero inoxidable con medidas pre establecidas (Anexo 8, Anexo 9 y Anexo 10) que se coloca en la mufla de calentamiento y de acuerdo a la combinación a realizar, se identifica la temperatura para lograr deformarlo; luego de esto se procede a ejercer una presión manual con la espátula o micro-espátula para que el material ocupe toda las partes de la cavidad del molde y adquiera su forma luego de enfriarse. Cabe destacar que es necesario colocar la cantidad exacta de material debido a que una cantidad mayor puede generar inadecuadas propiedades mecánicas y baja densidad (Restrepo, Zuluaga, Castro, Velez, & Gañan, 2007).

En este proyecto de investigación, se usó la mufla de calentamiento a una temperatura de 200°C debido a que se necesitaba derretir el PEBD pero no quemarlo en su totalidad. Esto se determinó de acuerdo a bibliografía trabajada con polietileno y la experiencia propia en el semillero ARPEMS (Achilias, Roupakiasa, Megalokonomos, Lappas, & Antonakou, 2007; Thakore, Desai, Sarawade, & Devi, 2001).

4.4. Caracterización Físico-Química

En los siguientes apartados, se evidencian las técnicas e instrumentos que ayudaron al desarrollo de la caracterización físico-química.

4.4.1. Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

Con el fin de determinar las estructuras microscópicas que intervienen en los materiales utilizados, se aplicó la técnica de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB). Para esto se inició, con un análisis específico de cada material a partir de un haz electrónico que es desplazado por toda la superficie de la muestra con un movimiento continuo; hasta que el contacto entre el haz de electrones y la muestra produzca una carga de electrones secundaria pasando por un videoaplicador que por rayos catódicos produce la imagen (Faura & Piqueras, 2015). Se realiza para analizar la forma, textura y composición química de cada biocomposito (en los porcentajes establecidos). El ensayo se llevó a cabo en el laboratorio de microscopía de la Universidad de los Andes, a partir de un microscopio JSM-6490LV de alta resolución; la preparación de las muestras se llevó a cabo mediante un recubrimiento con una capa de oro de aproximadamente 50 nm.

4.4.2. Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR)

La Espectroscopia Infrarroja (IR) es un método que estudia la absorción de energía radiante que es originada por medio de la interacción entre la radiación electromagnética y el material a estudiar (Piqué & Vázquez, 2012). La FT-IR, se realiza para analizar cuantitativa y cualitativamente los grupos funcionales presentes en el material, para así verificar su estructura mediante la variación de un espectro que determina la transmitancia. La prueba se llevó a cabo en los laboratorios de la Universidad el Bosque, a partir de un espectrofotómetro Nicolet 380, de acuerdo a la norma DIN53742.



4.4.3. Corrosión Salina

En este estudio, se identificó los efectos de corrosión que se atribuyen al agua salobre, por medio del ensayo de inmersión. Para esto se realizó un corte diagonal en la muestra superficialmente, creando ranuras en ella y se mantuvo sumergida en agua de mar (35g de NaCl/ L de agua) a 40°C durante 30 días para tomar resultados cada semana y así evaluar el desgaste del material por medio de un estereoscopio serie K-400P. Se tuvo en cuenta el parámetro seleccionado por la norma UNE-EN ISO 2018-2 (Carro, 2017; Vera & Cañas., 2005). Cada uno de las mediciones es evaluada por medio de la inspección visual de acuerdo a la norma ASTM D 696 (Garzon & Garzon, 2017).

4.4.4. Porcentaje de Hinchamiento

Debido a las condiciones ambientales de la ubicación del proyecto, es necesario determinar la capacidad de los materiales para absorber agua de su entorno, para esto se midió el porcentaje de ganancia de peso aparente de cada material o porcentaje de hinchamiento (%W); se analizaron las muestras previamente secadas hasta un peso constante (W_o) y se llevaron a una temperatura de 70°C en humedad relativa de 100% con 150 rpm, se registraron las masas (W_t) durante periodos de análisis de 15 minutos, 30 minutos, y en periodos de una hora (1h) hasta completar ocho (8) mediciones, de acuerdo con la norma técnica ASTM D570; secando superficialmente cada muestra antes de registrar su masa en una balanza analítica. El porcentaje de hinchamiento en cada periodo de tiempo se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$\%W = \frac{W_t - W_o}{W_o} \times 100 \quad (5)$$

Se graficó como la ganancia de peso en porcentaje como datos dependientes a raíz del tiempo analizado mediante el *software SigmaPlot*. El porcentaje de hinchamiento se midió para los tres extractos vegetales (PT, VA y RF), para las matrices poliméricas de PEBD y todas las combinaciones de biocompositos. Para estos últimos, se confirmó el porcentaje de humedad teórico, así como su densidad final propuestos respectivamente en las ecuaciones 6 y 7.

$$\%H = \%F * \%HF + \%P * \%HP \quad (6)$$

$$db = dF * \%F + dP * \%P \quad (7)$$

Donde %H representa el porcentaje de hinchamiento; %F es el porcentaje de fibra en el tejido; %P porcentaje de polímero en el tejido; d es la densidad del material lo que indica entonces que dF es la densidad de la fibra y dP es la densidad del polímero.

4.4.5. Contenido de carbono Total

El Carbono Total (CT) identifica el contenido de carbono orgánico e inorgánico en los tejidos vegetales como la suma de los anteriores. Para su determinación, se usó la metodología de pérdida por calcinación que inicia con el peso inicial de la muestra seca, para luego colocarla en la mufla a 600°C por treinta (30) minutos; por medio de una comparación gravimétrica, se puede determinar la masa perdida con la calcinación, correspondiendo a los compuestos orgánicos (La Manna, y otros, 2007).

5. Técnicas e instrumentos de interpretación de la información

5.1. Análisis documental

Busca una comparación con los valores obtenidos a partir de la caracterización física de los biocompositos realizados. Se tuvo en cuenta esta técnica porque permite establecer las condiciones esperadas de rendimiento y analizar los datos obtenidos y con esto se identificaron las características



actuales y futuros usos del mismo, para determinar el material con las mejores propiedades mediante el método de criterio analítico completo. Se asignaron valores mediante la importancia de cada criterio en una matriz multicriterio; y se establecieron rangos de favorabilidad de 0 a 10 para calcular el puntaje de cada material.

Objetivo específico 3

Diseñar el sistema de captación hídrica que cumpla con los requerimientos técnicos y ambientales

1. Enfoque

El objetivo específico tres, tiene un enfoque mixto debido a que se plantea a partir de la integración de los datos cuantitativos de la propuesta de diseño de un sistema de abastecimiento de agua potable para Nueva Venecia, Magdalena. Así mismo, es cualitativo debido a que tiene en cuenta la opinión de los habitantes de la zona a partir de la visita de campo y sus respectivas entrevistas y encuestas.

2. Alcance

Este objetivo específico, tiene un alcance exploratorio porque para el desarrollo de este objetivo específico, se tuvieron en cuenta los aspectos tradicionales de la comunidad y las características que tiene la zona de estudio. A partir de allí, se identificaron dos posibles diseños constructivos que cumplen con las necesidades hídricas y van acorde a la situación actual.

3. Diseño Metodológico

El tercer objetivo específico, tiene como diseño método el cualitativo de estudio de caso; porque el diseño del sistema de captación hídrica se realizó a partir de los criterios que se adaptan a las condiciones ambientales de Nueva Venecia. De la misma forma, a partir de la acción participativa se pudo realizar la recolección de datos cuantitativos que permitieron elegir la alternativa más eficaz.

4. Técnicas e instrumentos de recolección de la información

4.1. Diseño estructural

A partir de los criterios de adecuación de sistemas de abastecimiento de agua potable en la norma NTC 1.500, la guía de diseño para la captación de agua lluvia y la guía para captación de agua de niebla del centro UC de Chile, se plantearon dos (2) posibles estructuras con viabilidad de captación hídrica en la comunidad. Se tuvo en cuenta además las dinámicas socioambientales de la zona para elegir el modelo que más se acomode a las necesidades y particularidades de la comunidad palafítica. Las dimensiones de cada sistema, se establecieron a partir del análisis matemático para así realizar una prospección de la producción de materiales en la zona bananera.

4.2. Diseño del prototipo

Las estructuras se plantearon en dos (2) puntos elegidos a partir del análisis socioambiental. Se realizaron planos bidimensionales de las estructuras mediante el *software AutoCAD*, siguiendo los requerimientos técnicos y se calculó a su vez el potencial de captación hídrica para cada una, mediante información hidrometeorológica suministrada por la estación de Sevilla (Zona Bananera) del IDEAM con datos de humedad relativa, precipitación, velocidad del viento y temperatura ambiente promedios desde el año 2010. De la misma manera, se estableció el diseño estructural tridimensional mediante el *software AutoCAD 3D* y se identificó el biocomposito más viable de acuerdo a las secciones de la estructura. Sumado a esto, se seleccionó un lugar para la realización de los materiales y se estimaron los costos de producción para la adecuación del sistema de captación.



5. Análisis e interpretación de la información

A partir el dimensionamiento estructural de los sistemas de captación, se realizó un método de contrastación con el fin de elegir la estructura adecuada; para esto, se compararon las dos alternativas, estableciendo similitudes y puntos críticos en el desarrollo de ambas y así plantear estrategias que solventaran los impactos producidos por esto (Pomeranz, 2011).



Tabla 3. Tabla metodológica

Objetivo General				
Proponer un sistema de abastecimiento de agua potable a partir de materiales sostenibles en el corregimiento de Nueva Venecia, Magdalena, Colombia				
Objetivo específico	Actividad	Técnica	Instrumento	
Diagnosticar las condiciones socio-ambientales del corregimiento de Nueva Venecia, Magdalena.	Revisión bibliográfica	Análisis de resultados	Informes, libros, bases de datos, documentos técnicos y gubernamentales.	
	Visita Técnica	Observación participativa	Registro fotográfico y Notas de campo	
		Aplicación de entrevistas	Notas de campo y grabaciones	
		Aplicación de encuestas estructuradas	Formato de preguntas	
	Determinación de parámetros de calidad del agua	Determinación de Fosfatos	Test colorimétrico <i>MColortest P</i>	
		Determinación de contenido de Sulfatos	Test colorimétrico <i>MColortest S</i>	
		Contenido de Cloruros	Test colorimétrico <i>MColortest Cl</i>	
		Determinación de la Dureza Total pH y Conductividad	Test colorimétrico <i>MColortest Ca</i> Multiparámetro Numak, modelo <i>DZS-708L</i>	
	Elaborar, a partir de residuos vegetales y poliméricos, un material sostenible para uso constructivo de un sistema de abastecimiento de agua potable.	Recolección de muestras	Recolección y Clasificación	Bolsas herméticas, papel periódico y registro fotográfico
		Pretratamiento de materiales	Secado	Estufa, balanza analítica
Trituración			Molino de trituración	
Elaboración de biocompositos		Moldeo y Compresión	Fundición en mufla y lijado	
Análisis	Comparación y Contrastación	Escala SAATY		
Diseñar un sistema de captación hídrica que cumpla con los requerimientos técnicos y ambientales del corregimiento de Nueva Venecia.	Diseño de las alternativas	Diseño estructural	Modelamiento 2D Y 3D en AutoCAD, Análisis matemático	
		Diseño del prototipo	Modelamiento 2D Y 3D en AutoCAD, estimación del potencial de captación hídrica	
				Diseño presupuestal

Fuente: Autores

CAPÍTULO III. DIAGNÓSTICO SOCIO-AMBIENTAL DE NUEVA VENECIA

Objetivo Específico 1. Diagnosticar las condiciones socio-ambientales del corregimiento de Nueva Venecia, Magdalena.

I. RESULTADOS Y ANÁLISIS

A continuación, se presenta la descripción e identificación de los temas fundamentales para analizar las condiciones socio-ambientales en Nueva Venecia, Magdalena.

1. Revisión bibliográfica

Como revisión inicial de las condiciones socio-ambientales de Nueva Venecia, se presenta una recopilación de información levantada, para realizar un diagnóstico preliminar de la comunidad y de las condiciones sociales que se enfocarán en el abastecimiento hídrico. Se parte de una contextualización de la ecoregión de la CGSM debido a las complejas interacciones ecológicas que allí se presentan, para así, enfocarse en el diagnóstico de las condiciones socio-ambientales de Nueva Venecia.

1.1. Descripción de la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM).

La Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) es la laguna costera más grande de Colombia. Reúne no solo la Ciénaga Grande propiamente dicha, sino un complejo lagunar con más de 4900Km^2 , de los cuales 730Km^2 corresponden a ciénagas y caños y 570Km^2 a zona marina que están enmarcadas en los siete (7) ecodistritos de la ecoregión de la Ciénaga Grande de Santa Marta, dividida en 11 municipios (Vilardy, 2012). Además, posee una amplia importancia ecológica en el caribe colombiano, pues ha sido el primer sitio Ramsar en el territorio nacional desde el 18 de junio de 1998 como el Sistema delta estuarino del Río Magdalena y la Ciénaga Grande de Santa Marta (Ramsar, 2017).

La presente investigación se centra en las zonas rurales de dos (2) municipios: el corregimiento de Nueva Venecia, zona rural del municipio de Sitionuevo ubicado en el complejo cenagoso de Pajarales y el distrito agrícola de Guacamayal y Sevilla, zonas rurales del municipio de la Zona Bananera que están localizadas en la llanura costera oriental.

Bajo este punto de vista, se entiende a la CGSM no solo como un cuerpo de agua superficial, sino como un ecosistema complejo cuyos impactos generados en cualquier punto repercuten en aspectos socio-ambientales en toda la ecoregión. Uno de los impactos más relevantes fue la construcción de la vía costera en 1960, cuando se interrumpió el flujo transversal del agua hacia el mar Caribe, lo que afectó gravemente las poblaciones de manglar en la parte norte de la ciénaga. Unos 20 años después se construyó la carretera Barranquilla-Salamina, en donde se cortó de nuevo el flujo hídrico, pero esta vez de agua dulce proveniente del río Magdalena, aumentando de 9 a 36,5 ppmil la salinidad del agua y causando la muerte de 25.400 hectáreas del mayor ecosistema de manglar del país, así como la disminución del 93% del recurso pesquero (Mariño, 2007). La ampliación de los límites naturales por actividades agropecuarias sumadas a las obras de infraestructura con poca planificación, la alta presencia de residuos sólidos en todo el sistema lagunar y la baja calidad hídrica en sus afluentes, hacen de la ciénaga uno de los ecosistemas más afectados en Colombia (Invemar, 2014).

La agricultura es otro importante factor a nivel regional: en la zona de influencia de la ecoregión de la CGSM se extienden 38.682 ha de cultivos permanentes y 6.387 ha de cultivos transitorios. En donde predominan los cultivos de banano, presentes desde 1870 con la llegada de la multinacional

United Fruit Company, que aportan una carga contaminante de agroquímicos derivados de la fumigación de cultivos que llega a la ciénaga por escorrentía (Viloria, 2009; Vivas, 2018).

La importancia ecológica del sistema lagunar y la alta oferta de servicios ecosistémicos, incentivó el asentamiento de grupos humanos que forjaron su territorialidad en la ciénaga, comunidades tan arraigadas a las dinámicas ambientales de la CGSM que constituyeron en Colombia uno de los legados más importantes de la llamada Cultura Anfibia, actualmente existen tres (3) comunidades palafíticas en la ecoregión de la CGSM; los palafitos de Buenavista; Bocas de Aracataca y Nueva Venecia (El Morro); esta última cuenta con la mayor población de los pueblos anfibios (Lugo & Lugo, 2018).

1.2. El corregimiento de Nueva Venecia

El corregimiento de Nueva Venecia se considera como el único palafito activo sin conexión con tierra firme en el país, lo que ha dado lugar a un desarrollo único de su cultura y su patrimonio alrededor del agua. Sin embargo, debido a la exclusión social y al abandono estatal, se ha producido la victimización del conflicto armado, pobreza extrema y necesidades básicas insatisfechas (Sarmiento, 2015).



Figura 5. Vista Satelital de Nueva Venecia
Fuente: Imagen satelital extraída de satellites.pro

Actualmente, Nueva Venecia cuenta con 250 casas en donde habitan 2.800 personas aproximadamente, la estructura general de la población se basa en anillos que apuntan hacia el centro del corregimiento, donde se ubica la iglesia, en cuanto más periférico sea el anillo, mayor será el nivel de precariedad de sus viviendas. Cada habitante se moviliza de una casa a otra a partir de chalupas o lanchas debido a que Nueva Venecia está completamente rodeada de agua y solamente algunas edificaciones se encuentran interconectadas por medio de puentes elaborados de madera (Barros, 2017). La carencia de calles hace que no existan direcciones que ayuden a la ubicación como en la mayoría de ciudades o pueblos de Colombia, la única forma de guiarse o saber hacia dónde se dirigen dentro de Nueva Venecia depende de la persona dueña de la vivienda o de lo que ellos denominan al Norte como “arriba” y al Sur como “abajo” (Vivas, 2018).

Respecto a la economía, las actividades se centran principalmente en la pesca (53%), seguido del trabajo informal (33%), luego del agropecuario (9%) y finalmente el comercio (5%); esto determina que los intereses de los habitantes no se centren en el progreso de las viviendas ni en la incorporación



de nueva tecnología, sino en el establecimiento de mecanismos que ayuden a mejorar las necesidades básicas como el agua, luz y residuos sólidos (Aguilera, 2011).

La actividad pesquera depende de los cambios ambientales de la ciénaga que se relacionan con los niveles de precipitación, evapotranspiración y clima de la región que afectan de manera directa a los aproximadamente 5.000 pescadores de los palafitos; la productividad en la zona ha disminuido drásticamente desde el siglo pasado principalmente por los cambios hídricos de la ciénaga, en 1967 se comercializaron 27.000 toneladas de pescado, mientras que para el año 1987 esta cifra se redujo a 1.785 toneladas; gracias a los planes de recuperación de la ciénaga, para el 2009 ascendió incipientemente a 6.255 toneladas, esta situación ha obligado a los pescadores a disminuir las tallas de los pescados y a utilizar técnicas alternas a la atarraya convencional como el chinchorro y el trasmallo, técnicas más invasivas que causan impactos negativos en el recurso pesquero (Aguilera, 2011).

Sobre las condiciones climáticas cabe destacar que Nueva Venecia cuenta con una precipitación anual de aproximadamente 100-150 mm, en donde en los meses de diciembre a marzo es de 0-50 mm y de abril a noviembre comienza a ascender hasta alcanzar un valor máximo de 200 mm, sin embargo, los niveles de evapotranspiración promedio de la ciénaga oscilan entre 1.150 a 1.431 mm/año. Esto genera un déficit hídrico y un aumento acelerado de la salinidad hasta una concentración de 152 ppmil que perjudica directamente las poblaciones de manglar y el recurso pesquero. Dicha situación, sumada a la mala gestión de los caños aportantes (Clarín, Renegado, Grande y Aguas negras), lleva a la disminución de su caudal debido a la sedimentación, el sobreuso de sus aguas por parte de las actividades agrícolas y su elevada carga de contaminantes orgánicos persistentes (Aguilera, 2011; Invemar, 2014).

La situación arriba mencionada genera condiciones anóxicas en el sistema lagunar, que conlleva a los diversos episodios de mortandad masiva de peces que se han presentado año tras año. La última mortandad representativa fue en febrero de este año (2019), comprometiendo la seguridad alimentaria de seis mil familias en toda la ciénaga con registros precarios de biomasa perdida (caracoltv, 2019). Esto compromete, además, la seguridad económica de los pescadores, que reportan ganancias mensuales en algunos casos de menos del salario mínimo legal vigente y cuyos activos no permiten solventar el costo de vida en los palafitos (Aguilera, 2011), lo que explica las condiciones de vida de los habitantes.

Finalmente, se evidencia que la falta de un sistema sanitario agudiza la contaminación del agua por materia fecal en las poblaciones palafíticas, lo que repercute en un 30% de participación de las enfermedades diarreicas agudas (EDAs), con registros que sobrepasan en hasta un 60% el límite permisible de Coliformes Totales (Invemar, 2014). Esto, sumado a que el 75,7% de la comunidad no está afiliado a ningún sistema de salud, genera un panorama de emergencia sanitaria en la población (Aguilera, 2011).

1.3. Agua potable en Nueva Venecia

De acuerdo con Maria Aguilera (2011), el agua para consumo en Nueva Venecia se obtiene del río Aracataca, 20 km aproximadamente al sur oriente de la comunidad. Se transporta en barcazas a motor llamados localmente como *Bongoductos* hasta el lugar en el que es almacenada para su venta, sin ningún tipo de tratamiento previo, a un costo por ración de 400 pesos. Esto puede representar una inversión mensual de hasta \$480.000 para una familia promedio de cuatro (4) personas, comparable con el pago de una vivienda estrato seis (6) en Bogotá, demostrando así que es un recurso muy costoso para la inadecuada calidad que este presenta.



A partir de la revisión bibliográfica, el diagnóstico y la evaluación de la calidad de agua marina y costera del caribe y pacífico colombiano del INVEMAR en el 2016, se pudo reconocer que estos niveles de contaminación del recurso hídrico, se deben a la presencia de agua residual doméstica y residuos sólidos que son vertidos de forma directa por los habitantes de Nueva Venecia a la Ciénaga Grande de Santa Marta. Así mismo, debido a la presencia de la actividad agrícola que se desarrolla en la zona bananera, el agua de la ciénaga se ve perjudicada por el vertimiento de residuos químicos (REDCAM, 2011).

2. Observación participativa

A continuación, se presentan los resultados derivados del levantamiento de información en la visita de campo a las zonas de interés regida por el cronograma del Anexo 5, notas de campo, cuadros, tablas, registro fotográfico y observación científica. El desarrollo de dicha observación permitió la corroboración de la información previa para brindar un diagnóstico preliminar de la situación, identificar las prácticas de abastecimiento de agua actuales y relacionar los comportamientos sociales desde una mirada holística, que integre el entorno cambiante con determinantes sociales, económicos y ambientales.

2.1. Aspectos fundamentales en Nueva Venecia, Magdalena

A Nueva Venecia se llega desde el puerto de Tasajeras, en el extremo nororiental de la ciénaga grande de Santa Marta, por medio de un bote de motor con un costo que varía desde los \$10.000 hasta los \$150.000 por persona, dependiendo del carácter de la visita. Después de un viaje de una hora y quince minutos (1:15:00) aproximadamente, se avistan los primeros palafitos como señal de la llegada a Nueva Venecia. Se entra, entonces, a un laberinto intrincado de casas de madera (Figura 6) y estructuras para secar el pescado denominadas trojas (Figura 7).



Figura 6. Viviendas Palafíticas de Nueva Venecia

Fuente: Autores

La troja es uno de los métodos utilizados por los primeros habitantes de la ciénaga para secar el pescado antes de su consumo y comercialización. Se basa en palos de madera ubicados en paralelo y sostenidos por pilares colocados directamente en el agua. Cuando los primeros pescadores comenzaron a sentir la necesidad de establecerse en las zonas de pesca y evitar el constante movimiento para conseguir el alimento, las trojas evolucionaron en las primeras viviendas palafíticas, se les agregaron paredes y techos de paja y comenzó a forjarse la cultura anfibia en el caribe, actualmente una de las menos exploradas en el país, los servicios básicos son precarios, la energía eléctrica es prestada por Electricaribe y se llevó atravesando un cable en la ciénaga desde una planta en Sitionuevo, es común entonces, ver como el cable eléctrico sobresale del agua en algunos puntos del corregimiento sostenido por palos de madera; se evidencia un servicio deficiente con fallas constantes.





Figura 7. Lisa secada en trojas
Fuente: Autores

La apartada ubicación a tierra firme constituye una de las problemáticas más evidentes que tiene el corregimiento actualmente y es la falta de gestión sanitaria: es común ver residuos en toda la comunidad, se transportan en la masa de agua conforme a las corrientes y se depositan kilómetros al sur en los bosques de manglar; algunos otros quedan represados en la parte inferior de las casas y otros más densos se hunden en los sedimentos. Para el año 2010, se produjeron 975 toneladas de residuos sólidos entre las tres poblaciones palafíticas (Aguilera, 2011), residuos que en su mayoría no abandonaron la ciénaga.



Figura 8. Sistema sanitario en Nueva Venecia
A. Parte externa B. Parte interna
Fuente: Autores

A esto se suman los vertimientos domésticos, debido al desarrollo de los sistemas sanitarios en las viviendas. Los baños se basan en una tabla corrediza en el suelo en donde se depositan todos los vertimientos directamente en la ciénaga, esto genera una contaminación directa del agua del corregimiento por heces fecales, la comunidad no utiliza normalmente el agua local para abastecerse; debido a la necesidad de buscar nuevas fuentes de agua de mejor calidad, se establecieron los sistemas de abastecimiento hídrico actuales en Nueva Venecia

2.2. Sistemas de Abastecimiento Hídrico en Nueva Venecia

El principal método utilizado para el abastecimiento de agua en el corregimiento es el uso del llamado Bongoducto o Bongo (Anexo 11), es una embarcación de madera o fibra de vidrio de 17 metros de largo, 2 de ancho, 1,60 de alto, y una capacidad de 50 m³ destinada únicamente al transporte de agua. La recolección se hace actualmente en la desembocadura del caño Aguas Negras en la ciénaga al norte de Nueva Venecia. La distancia de captación depende de la disponibilidad de agua dulce que

aporte el caño, en temporada de lluvias, por ejemplo, es posible encontrar agua dulce a dos (2) kilómetros del corregimiento, sin embargo, en temporada seca la captación se realiza casi directamente en el lugar de desembocadura a cuatro (4) kilómetros.



Figura 9. Bongoducto en proceso de llenado

Fuente: Autores

El proceso es manual y se realiza mediante la disponibilidad de recursos. Se inicia con la compra del combustible, en promedio se invierten dos (2) litros y medio de gasolina con un costo aproximado de \$15.000 que se consiguen fácilmente en el corregimiento. El bongo es lavado antes de cada llenado, se zarpa de Nueva Venecia con un bote auxiliar que lleva a la tripulación y en el que se asegura el Bongo. En el lugar de captación se detiene la embarcación y se entra en el agua para comenzar el llenado (Figura 9). Con la ayuda de un balde de aproximadamente siete (7) litros se llena la embarcación con agua tomada superficialmente, este proceso tarda entre 15 y 25 minutos, dependiendo de la disponibilidad del personal.

Una vez lleno, se vuelve a Nueva Venecia y se deposita en uno de los tres (3) reservorios autorizados en la comunidad por medio de una motobomba y se le agrega sulfato de aluminio¹³ Tipo B como coagulante conocido también como alumbre, llevado desde Barranquilla. Los reservorios tienen una capacidad aproximada de 50 m³ con dimensiones variables de 5 metros de ancho, 5 de largo y 2 de ancho, y están ubicados en los patios de sus propietarios. El depósito se aseca cada vez que se abastece. En la Figura 10 es posible ver cómo la falta de mantenimiento permite la inclusión de hojas y partículas en los depósitos; los reservorios son alimentados por el agua lluvia en épocas de altas precipitaciones y se recolectan con ayuda del sistema de drenaje en los techos.

¹³ Al₂(SO₄)₃ es un sólido blanco usado como floculante (DQI, 2012).





Figura 10. Reservorio de agua
Fuente: Autores

El agua clarificada se extrae mediante una válvula de escape y se vende la ración a un precio de \$400 pesos o una caneca de 55 litros por \$3.000. Una vez vacío el reservorio se limpia y se extraen los lodos resultantes de la clarificación equivalentes a 2,5 libras por cada llenado y se disponen como residuo ordinario.

Este, sin embargo, no es el sistema de abastecimiento usado por toda la comunidad. Algunos habitantes optan por captar el recurso por sí mismo y almacenarlos en tanques dispuestos en sus casas (Figura 11). Los tanques se llenan y se les agregan 500 gramos de sulfato de aluminio ($Al(SO_4)_3$) por cada 1000 litros de agua, la bolsa de 200 gramos se encuentra a la venta en las tiendas locales y tiene un costo de \$1.000. Los sacos de Sulfato de Aluminio por 25 kg se llevan desde Barranquilla y tienen un costo de \$50.000.



Figura 11. Tanques de almacenamiento de agua
A. Tanques de almacenamiento en la estación de policía. B. Tanques en un patio de Nueva Venecia
Fuente: Autores

Otro método de abastecimiento conocido, pero menos usado es la captación de agua lluvia en los meses de altas precipitaciones, aunque todos los habitantes se abastecen de manera indirecta de agua lluvia, de las 400 casas que componen Nueva Venecia, solo dos (2) utilizan netamente agua lluvia para su consumo a lo largo de todo el año, la recolección se hace mediante el drenaje en los tejados y se almacena en tanques lavados periódicamente.



Figura 12. Sistema de recolección de agua lluvia
A. Tanques de almacenamiento. B. Canaleta de recolección
Fuente: Autores

Los sistemas de captación de agua lluvia son adaptados por los residentes de las viviendas. Es posible ver en la Figura 12 la canaleta de drenaje colocada por los residentes de la vivienda, atada al techo mediante alambre de acero. El agua captada por precipitación solo se usa para fines de consumo y preparación de alimentos, de esta manera se raciona para permitir su uso todo el año; para otras actividades se usa agua captada por Bongoducto.

Existen medidas de prevención que se han llevado a cabo en el corregimiento. Una de ellas fue la repartición de filtros de arcilla EKOFIL de Replacol entregado en el marco de programa Familias en su Tierra por parte de la UE y la Cruz Roja Colombiana. El filtro requiere un mantenimiento mensual que se basa en el lavado manual y se debe cambiar el sistema de filtrado cada tres años. Esto, sin embargo, fue una medida usada por pocas familias en Nueva Venecia.



Figura 13. Filtro de arcilla
Fuente: Autores

Finalmente, una de las medidas para suplir la demanda comunitaria de agua fue la propuesta para llevar el recurso hídrico desde un reservorio en tierra firme, 5 km al occidente de Nueva Venecia, mediante el establecimiento de un sistema de alcantarillado que supla cada casa de manera independiente. Para esto se estableció un reservorio comunal en concreto en el centro de la comunidad (Figura 14) de 2 metros de alto, 10 de largo y 10 de ancho aproximadamente. Sin embargo, el proyecto nunca se llevó a cabo y el reservorio, una vez establecido, quedó abandonado por la comunidad; actualmente, no tiene ninguna especie de mantenimiento.



Figura 14. Reservorio Comunitario Abandonado

Fuente: Autores

2.3. Zona Bananera

Por otra parte, es importante resaltar las dinámicas de producción observadas en la Zona Bananera, que para este proyecto funcionara como proveedor principal de materias primas y como un actor fundamental en las dinámicas hidrológicas de la ciénaga. La producción de banano es la más importante en esta zona del país, comparte su territorio además con monocultivos de Palma de Aceite y haciendas ganaderas. La presente investigación estudió las dinámicas de producción bananera en una finca en el centro poblado de Guacamayal, se accede al lugar mediante un recorrido de una hora y media (1:30:00) aproximadamente, en bus público desde el municipio de Ciénaga.



Figura 15. Racimos de banano recién cortados

Fuente: Autores



Las fincas bananeras deben estar afiliadas a cooperativas de agricultores para contar con permisos de exportación, en este caso, la Coobamag (Cooperativa Multiactiva de Bananeros del Magdalena), es la entidad encargada de gestionar los residuos plásticos y agrícolas derivados de la actividad bananera, se registra en promedio una generación de 500 sacos de PEBD al mes por hectárea de banano sembrada (5 sacos/ha/mes), algunos de éstos son llevados al centro de aprovechamiento de plásticos en el centro poblado de Sevilla al norte de Guacamayal, allí se reciben de 40 a 100 toneladas de polietileno al mes, que son trituradas junto con otros polímeros como el Polietileno Tereftalato¹⁴ (PET) y el Polietileno de Alta Densidad¹⁵ (PEAD) para brindar resistencia al material. Se funden en una proporción de 370 kg de polímeros de resistencia por cada tonelada de PEBD y se realizan pilotes de dos (2) metros, vendidos a \$14.000 cada uno para ser usados como rejas en las fincas bananeras y palmeras.

3. Aplicación de entrevistas

Las entrevistas, se realizaron a partir de una conversación con líderes comunitarios de Nueva Venecia (Temy Melendez, José Julián Donado, Giovanni Rodríguez y Jesús Suárez), pescadores de Nueva Venecia (Amalfi Castillo); personas que le brindan el agua a la comunidad y sus viviendas ya sea a partir del “Bongoducto” o agua lluvia en el corregimiento (Erolinda Castillo Suárez y Yolanda castro); auxiliares de enfermería (Nancy Gutiérrez) y personal de la zona bananera (William Varela y Juan Vaca Gutiérrez) que mostraban a través de las narraciones distintas percepciones, eventos e ideas que giraban en torno a la situación actual de su municipio, ya sea alrededor de los recursos que son desaprovechados o a la falta de agua potable en la comunidad.

3.1. Percepción general de las dinámicas ambientales en Nueva Venecia

“*Nosotros estamos acá olvidados*”, es la opinión que comparten todos los entrevistados; Nueva Venecia, es un pueblo palafítico que cuenta con una historia que gira en torno al “*conflicto armado, falta del recurso hídrico y poco reconocimiento estatal (...) que lo único que intenta es progresar a pesar de las ataduras*”, fue así como comentó Giovanni Rodríguez (Anexo 12), comisario de Nueva Venecia que se encarga de ayudar a la comunidad en la solución de problemáticas sociales que giran en torno al desarrollo de nuevos proyectos. De la misma forma, explica que la población “*considera a la CGSM como un entorno de conservación y protección*” ya que en el transcurso de los años han presenciado la deforestación de manglares, pérdida hídrica y alta sedimentación.

Los pobladores de Nueva Venecia son, en su mayoría, conscientes de las principales problemáticas socio-ambientales de su territorio, asociados a actividades agroindustriales de cultivos de palma y banano. Temy resalta los impactos indirectos de las actividades agrícolas en la CGSM con respecto a Nueva Venecia. Indica que “*se ha visto el agua rojiza que provienen de los químicos de la zona bananera (...) en 1995, se vio una gran mortandad de peces y manglar que se produjo por la presencia de los químicos*”.

Temy Meléndez (Anexo 13) y Jesús Suárez son líderes comunitarios, participantes activos en la toma de decisiones que se relacionan a la ejecución de proyectos por parte de las entidades gubernamentales (Corpamag, Parques Naturales, Cruz Roja y demás) y en específico Jesús Suárez hizo parte del Invemar. Él resalta que la “*zona bananera es causante de la mortandad de peces, cambios de coloración en el agua, presencia de sustancias químicas y la mortandad de un sin número de hectáreas de manglar en la ciénaga*” por la fumigación y adición de sustancias químicas en el suelo para acelerar el crecimiento del cultivo.

¹⁴ (C₁₀H₈O₄)_n es un plástico usado en envases de bebidas (Mecozzi, Pietroletti, & Monakhova, 2016).

¹⁵ Es un polímero de adición formado por cadenas de etileno, se usa en envases de detergentes y productos químicos (Mecozzi, Pietroletti, & Monakhova, 2016).



A pesar de lo mencionado anteriormente, José Julio Donado (Anexo 14) concejal de Nueva Venecia, revela que no todo se relaciona de forma directa con la zona bananera y sus problemáticas; a su vez, los pobladores de Nueva Venecia perjudican el entorno ecosistémico de la ciénaga porque, a pesar de contar con un centro de acopio de basuras que almacena los residuos sólidos que provienen de Nueva Venecia, *“la mayoría de los habitantes botan de forma directa algunos materiales plásticos”* (la mayoría de los elementos que se venden en Nueva Venecia, son dados en bolsas plásticas) que para muchos terminan desapareciendo por la acción de las corrientes de la CGSM.

Se evidencia además un inconformismo comunitario hacia el sistema de salud manejado actualmente, *“solamente contamos con médicos dos días a la semana y en los ¿otros 5 días? (...) los médicos suelen venir solamente por ratos, solamente vienen en la mañana y se van al medio día”* indica Giovanni, agrega que además el único espacio académico de los palafitos se encuentra hacinado con *“casi 800 niños, por qué viene gente de Buenavista que no tiene bachillerato, solamente tienen primaria hasta quinto”*. El sistema sanitario de vertimientos domésticos es otro factor que preocupa a la comunidad, *“todo va abajo (...) ninguna casa tiene pozo séptico”* comenta Giovanni respecto el mecanismo sanitario de la tabla corrediza para la disposición de heces fecales, comenta también que ha venido evolucionando *“se han instalado un tipo de baño común pero aun así se han hecho los vertimientos de forma directa.”*

3.2. Percepción del modelo de abastecimiento hídrico en Nueva Venecia.

El agua de captación del Bongoducto proviene hoy en día del caño aguas negras, *“es un brazo que viene directamente del río Magdalena y desemboca en la ciénaga de pajarales”*, comenta Giovanni, agrega además la mala gestión del afluente y afirma que *“hay una sedimentación considerable, y aunque Corpamag está haciendo una intervención (...) está cavando donde no se debe.”* o como indica Temy Meléndez las dragas *“se la pasan más tiempo dañadas que lo que en realidad trabajan”*.

Nueva Venecia cuenta con un mecanismo de abastecimiento hídrico que se rige a partir de una lancha denominada *Bongoducto*, *“tiene 2m de ancho, 16m de largo y 1.60m de alto con una capacidad de 700 canastas de aproximadamente 15L”*, afirma Erolinda Castillo Suárez, dueña de una de los tres (3) reservorios encargados de la recolección y distribución de agua en Nueva Venecia. Todo inicia desde muy temprano, la persona encargada del transporte y llenado, que debe ser joven, *“debe desplazarse hasta las orillas del caño (...) para recoger el agua de forma manual, por medio de una canasta que es llenada con el agua y vaceada en el Bongoducto hasta que se completan las 700 canastas”*, comenta Erolinda Castillo Suárez. El *“empleado dura aproximadamente 25 minutos captando el recurso en el caño y 15 minutos lavando el Bongoducto de forma manual”* (con un cepillo), para *“quitar el polvo, residuos fecales y pelos de los animales que optan por descansar dentro del bongo”*.

De la misma forma, Erolinda Castillo comenta que para el *“transporte del Bongoducto hasta el punto de captación se requiere como mínimo un gasto de \$20.000 pesos cada semana”* debido a que se necesita de una pimpina de combustible para el motor. Erolinda comenta además que el *“trabajador se encarga de adicionar Sulfato de Aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) en el punto de almacenamiento, distribución o hasta en el mismo bongo ducto”* para clarificar el agua que luego va a ser distribuida en la comunidad. Este mecanismo demuestra que a pesar de las adversidades que se encuentran en el entorno de Nueva Venecia, los habitantes lograron desarrollar una estructura de abastecimiento con las especificaciones necesarias para cumplir con la demanda hídrica de los habitantes. De la misma forma, establecen un servicio que no perjudica de forma considerable la CGSM por no cambiar el cauce de la fuente de abastecimiento ni usar métodos que requieran de maquinaria pesada para su adquisición.



“Del 100% de los habitantes un 90% toma agua del Bongoducto para el desarrollo de las actividades diarias de la casa (lavar ropa, limpiar, aseo personal y demás) y el consumo”. Sin embargo, antes de colocarle el Sulfato de Aluminio, se percibe un color oscuro y a veces materiales que están flotando en el agua que luego va a ser consumida por ellos mismos. Esto fue relatado por Amalfi Castillo (Anexo 17) un pescador que la mayor parte de su vida la ha pasado en Nueva Venecia. Él comenta además la llamada *“guerra por el agua”* que ocurre en Nueva Venecia, debido a la competencia entre los habitantes cuando el recurso es escaso. El precio del agua aumenta y los habitantes salen en busca de su propia agua en la ciénaga. Para Amalfi, los habitantes con lancha a motor toman el agua con más rapidez y desde puntos de captación de mejor calidad hídrica, muchos, sin embargo, no cuentan con estas facilidades

A pesar de lo anterior, existe la confianza de implementar un sistema convencional basado en un acueducto desde tierra firme a 5 kilómetros de Nueva Venecia. Como lo menciona Temy, la solución desde su punto de vista es implementar *“un tanque elevado desde la bocatoma de aguas negras (...) que bombea el agua hacia el tanque y por medio de una tubería llega el agua potable a la alberca.”*

Una *“pequeña parte de la población (2 habitantes) optó por modificar la estructura de su vivienda para tener la oportunidad de captar agua que proviene de la precipitación anual que se produce en la zona de estudio”* comenta Yolanda Castro, una de las pocas personas que captan el agua lluvia en Nueva Venecia. Este mecanismo consiste en la elaboración de canaletas en la parte exterior de las viviendas que se conectan al tejado de la vivienda y por medio de la acción de la gravedad logran captar el agua lluvia y transportarla hasta los diferentes tanques de almacenamiento. Las personas que optan por este método le otorgan un mayor valor al recurso hídrico: *“utilizan el agua lluvia solo para el consumo humano y no para las actividades de la vivienda”*, comenta Yolanda; de esta forma, se reduce la posibilidad de padecer algún tipo de enfermedad estomacal.

En cuanto a enfermedades padecidas en la comunidad debido al consumo del agua con las características anteriormente mencionadas, Nancy Gutiérrez, auxiliar de enfermería y partera, comenta que algunas personas llegaban a *“presentar problemas estomacales que se relacionaban con la diarrea”* que se producen mientras el cuerpo se acopla a consumir de este tipo de agua. En ningún momento se comentó de algún fallecimiento que se relacione a deshidratación por las Enfermedades Diarreicas Agudas (EDA'S), pero sí por la *“falta de un adecuado centro de salud”*. Resalta que no cuentan con un médico de planta ni una ambulancia para los palafitos.

Dado lo mencionado anteriormente, las entrevistas muestran que el recurso hídrico es tal vez la principal problemática que enfrentan los venecianos día a día por ser costosa, de mala calidad y para algunos no se puede adquirir fácilmente. La mayoría de los entrevistados dieron la razón comentando que el *“agua es un problema de no acabar (...) mucha gente ha venido a proponer y tocar el tema sobre el recurso hídrico, pero nadie ha tomado la decisión de implementarlo”*.

3.3. Zona Bananera como centro productor de materias primas

Luego de finalizar la visita de campo en Nueva Venecia, se prosiguió con el levantamiento de información en el municipio de Zona Bananera, con el fin de reconocer las dinámicas alrededor de los desperdicios generados en el cultivo del banano y cómo estos podrían ser aprovechados para aumentar su vida útil. El desperdicio de residuos de Polietileno de Baja Densidad (PEBD) es tan alto, que la zona ya cuenta con una empresa que intenta aprovechar este material de la mejor forma.

Fue así como se conversó con William Várelo, administrador de la finca bananera en donde se tomaron las muestras (pseudotallo, vástago y residuos foliares), hace parte de la Cooperativa Multiactiva de Bananeros del Magdalena (Coobamag) y cuenta con los conocimientos pertinentes



para la toma de información que se relaciona con el proceso productivo y los desperdicios de Polietileno de Baja Densidad (PEBD). Él indicó que el *“cultivo requiere de un riego continuo que se desarrolla de forma mecánica, a partir de un sistema de conducción hídrica que termina en los diferentes puntos de irrigación que, en la finca son 20 puntos”*. Luego de esto, el entrevistado comentó el proceso productivo del cultivo para finalizar con los *“residuos, que se caracterizan por ser en su mayoría las bolsas que reciben, el banano y vástago”* ya que son materiales que no son aprovechados si no que por el contrario son dispuestos al relleno sanitario y en una pequeña medida las bolsas de Polietileno de Baja Densidad (PEBD) se dispone a una empresa que cumple la función de incorporarlas al proceso productivo de nuevo a partir de la elaboración de postes de PEBD y Polietileno de Alta Densidad (PEAD) para reemplazar el continuo uso de madera para separar los lotes en las fincas.

Por otro lado, se entrevistó a Juan Vaca Guerrero (Anexo 15), dueño del centro de acopio del PEBD que proviene de algunas fincas de la zona bananera, para el desarrollo de postes de distintas formas que reemplacen el uso de madera en los separadores de los lotes de cada finca.

El proceso inicia con la *“adquisición diaria del material que proviene de los cultivos de la zona bananera (PEBD) y mensual del Polietileno de Alta Densidad (PEAD) que se adquiere por medio de un convenio con Cali, Medellín y Bogotá”*, ya que son los puntos que elaboran este componente con una producción considerable, la empresa requiere 370.000 toneladas, de las cuales se usa 1.000 kg de PEBD y 200 kg de PEAD para la elaboración de los postes a partir de unas máquinas que se encargan de calentar, moldear y enfriar el material hasta la elaboración del mismo. Cada poste tiene un costo de \$15.000 pesos, lo cual indica que es un *“material un poco más costoso que la madera, pero de acuerdo a las características de los postes de PEBD+PEAD este material puede durar aproximadamente 80 años”*

Por medio de las entrevistas realizadas en la zona bananera y la presencia de una empresa que actualmente está intentando reutilizar el PEBD que proviene de los cultivos de la zona de banano, se demuestra que la zona presenta una producción considerable de residuos de PEBD que pueden ser aprovechados para el desarrollo del mecanismo que se pretende elaborar en el objetivo específico número tres (3) y que este proyecto investigativo busca dar una solución a la problemática que existe actualmente en dos (2) comunidades de Magdalena.

4. Encuestas estructuradas

A continuación, se presentan los resultados obtenidos a partir del desarrollo de veinte (20) encuestas realizadas a los habitantes de la comunidad de Nueva Venecia, Magdalena. Para esto se tuvieron en cuenta las siguientes condiciones: todos debían ser mayores de 18 años, haber nacido o haberse criado (mínimo 6 años) en Nueva Venecia y vivir en ese momento en las viviendas Palafíticas.

Cabe mencionar que cada una de estas preguntas se desarrollaron de acuerdo al criterio Social (Tabla 4), Económico (Tabla 5) y Ecológico (Tabla 6). Así mismo muchas de las personas a las que se les aplicó esta encuesta eran analfabetas (Nueva Venecia cuenta con uno de los índices más altos de analfabetismo en Magdalena de hasta el 57,5%) (Vivas, 2018). En ese orden de ideas, se guio al encuestado de manera verbal para registrar sus respectivos argumentos.

4.1. Análisis estadístico

En los siguientes párrafos, se evidencia el análisis estadístico de las encuestas realizadas a cada dimensión (Social, Económica y Ecológica). Para iniciar con la comparación de los datos de forma cuantitativa y explicar sus resultados.



4.1.1. Análisis Estadístico de las encuestas de la dinámica social

Tabla 4. Resultados de las encuestas dirigidas a la comunidad de tipo social.

Diagnóstico social			
Pregunta	Opciones	Total	Porcentaje (%)
¿Cuál considera usted que es la principal problemática en Nueva Venecia?	Recurso hídrico	8	40
	Recurso pesquero	8	40
	Salud	2	10
	otros (conflicto social)	2	10
¿Piensa que usted cuenta con acceso a agua potable de calidad?	Sí	6	30
	No	14	70
¿A partir de qué mecanismo, obtiene el agua para el consumo diario?	Bongoducto	14	70
	Agua Lluvia	2	10
	Ciénaga	1	5
	Otros	3	15
A partir de la pregunta anterior ¿Considera usted que el consumo de esta agua perjudica de algún modo la salud?	Sí	14	70
	No	6	30
¿Cuántas personas viven aproximadamente en la casa?	2	2	10
	3	6	30
	4	8	40
	5 o más	4	20
¿A partir de qué mecanismo obtiene el agua para la demanda diaria? (Lavar platos, ropa, aseo rutinario en la vivienda)	Bongoducto	16	80
	Ciénaga	4	20
¿Cree usted que la recolección de agua lluvia es una alternativa eficaz para el abastecimiento de agua en su comunidad?	Sí	13	65
	No	7	35

Fuentes: Autores

La dimensión social inicia desde la Figura 16 hasta la Figura 23, en donde se interpretan los resultados obtenidos de la población encuestada.

En primer lugar, se estableció la predominancia de género de las personas encuestadas, en la Figura 16 se representa el porcentaje de Hombres y Mujeres en la muestra poblacional de 20 personas, se resalta que en su mayoría (60%) se trata de hombres, las seis (6) mujeres entrevistadas corresponden a las encargadas de las tiendas comerciales de Nueva Venecia, y amas de casa, por su parte los hombres se ocupan en tareas como la pesca y la mayoría de líderes de proyectos en el corregimiento son hombres.



Distribución de géneros en la muestra poblacional encuestada

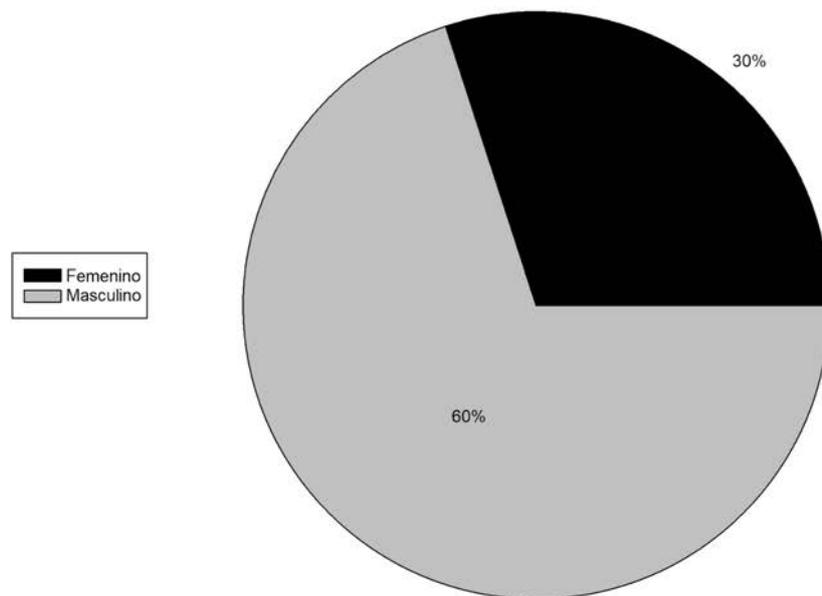


Figura 16. Distribución de géneros de las personas encuestadas en Nueva Venecia.

Fuente: Autores

Respecto a las percepciones personales de los encuestados hacia su comunidad, se evidencia a partir de la Figura 17, cuál de los problemas socio-ambientales en Nueva Venecia es para ellos el más representativo. Esta pregunta se formuló con el fin de verificar si las problemáticas relacionadas al estado actual del agua son de carácter urgente en la percepción comunitaria o si, por el contrario, no se ve el modelo de abastecimiento hídrico actual como un problema que se debe tratar.

Las respuestas de carácter abierto (en este caso la respuesta de otros) se agruparon y graficaron según categorías representativas para su posterior análisis cuantitativo. Los problemas relacionados al recurso hídrico se ven de manera preocupante por la comunidad, ya que la población manifestó en un 40% el deficiente estado del agua tanto de la ciénaga como del agua de consumo.

El recurso pesquero obtuvo el mismo porcentaje (40%) debido a que la principal actividad económica de los habitantes es la pesca y por el inadecuado estado de agua en la ciénaga, se ha presentado una mortandad considerable de peces que perjudica el ingreso regular en las viviendas y así mismo las distintas actividades económicas (tiendas que venden insumos para el consumo diario) que se desarrollan dentro del corregimiento de Nueva Venecia. Esto demuestra que la pesca es una actividad de importancia económica considerable.

Además, se percibió un interés particular en el uso de sistemas alternativos de sanidad que se enfocan en los vertimientos domésticos, varios manifestaron su descontento hacia la contaminación por materia fecal que se percibe en Nueva Venecia. El 10% mencionó el inadecuado servicio de salud que se tiene, debido a que no se cuenta con un médico de planta ni un servicio las 24 horas. Finalmente, un 10% de los encuestados se centraron en el descontento hacia la pérdida de los valores comunitarios y la violencia, según ellos, derivados de la población creciente en el municipio y de las influencias de otros grupos culturales.



¿Cuál considera usted que es la principal problemática en Nueva Venecia?

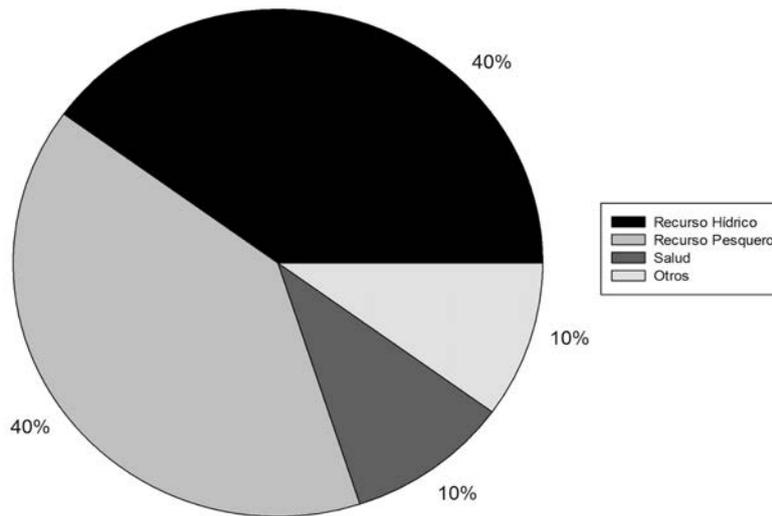


Figura 17. Distribución de la percepción de los problemas comunitarios en Nueva Venecia
Fuente: Autores

Enfocándose en el recurso hídrico, en la Figura 18 se evidencia la percepción de la comunidad hacia el estado del agua de consumo diario en Nueva Venecia. Por medio de la revisión bibliográfica y el reconocimiento visual en la salida de campo, se ratificó que en su mayoría (70%), la comunidad cree que no cuenta con agua potable de calidad debido a la influencia de las actividades agrícolas en el punto de captación y la percepción visual de turbidez.

A pesar de la evidente problemática, para algunos (30%) de los encuestados, el agua que consumen diariamente se encuentra en buen estado, con el argumento de que no se veían afectados al beberla o se habían acostumbrado a esta. Esto se percibe porque el agua traída en el Bongoducto, tiene un aspecto similar a las bolsas plásticas de agua que son compradas en Barranquilla o Santa Marta y traídas en lancha hasta el corregimiento para su posterior venta. Demostrando así que el agua del Bongoducto tiene un buen aspecto, pero no las mismas propiedades fisicoquímicas.

¿Piensa que usted cuenta con acceso a agua potable de calidad?

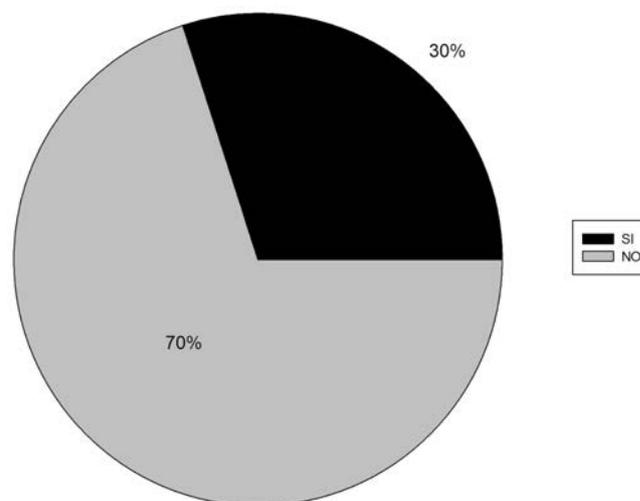


Figura 18. Percepción sobre el estado del agua de consumo.
Fuente: Autores



En este orden de ideas, en la Figura 19 se representa la distribución porcentual de los métodos de abastecimiento de agua potable utilizados por la comunidad, esta pregunta se realizó con el fin de verificar si existían otros modelos de abastecimiento diferentes a los conocidos y a qué porcentaje de la población iban dirigidos.

Es posible observar que, en su mayoría, hasta un 70% de la población se abastece por medio del Bongoducto. Es decir, si se desea intervenir este modelo de abastecimiento, un 70% de la comunidad podría verse impactada a raíz de los cambios que se generen. Así mismo, esto se relaciona con la capacidad económica, el interés y conocimiento de los habitantes para modificar la estructura de sus viviendas, con el fin de captar agua lluvia en una mayor proporción a la que se obtendría con solo colocar un balde al aire libre hasta su rebose, se requiere de un gasto, conocimiento e interés por obtener agua de mejor calidad. Desde el punto de vista económico, no muchos están en la capacidad de adquirir agua potable en bolsas plásticas traídas de otra ciudad para el consumo diario de una vivienda, porque deben contar con el gasto de gasolina en la lancha, transporte, entre otros.

Un 10% de los encuestados, correspondiente a dos (2) personas, manifestó que el agua para el consumo diario provenía de la recolección de agua lluvia y agregaron que, por esto, pueden consumir esa agua durante un año si no era desperdiciada en otras actividades.

Finalmente, es importante resaltar como el 15% de los encuestados coincidieron en que no usan ninguno de los sistemas de abastecimiento propuestos, sino que, por el contrario, compran agua empacada proveniente de tierra firme. Esto indica, en otras palabras, que existe una desconfianza hacia los sistemas de abastecimiento que se ofrecen en el corregimiento y que obliga a algunos de sus habitantes a no hacer uso del agua local para consumo.

¿A partir de qué mecanismo obtiene el agua para el consumo diario?

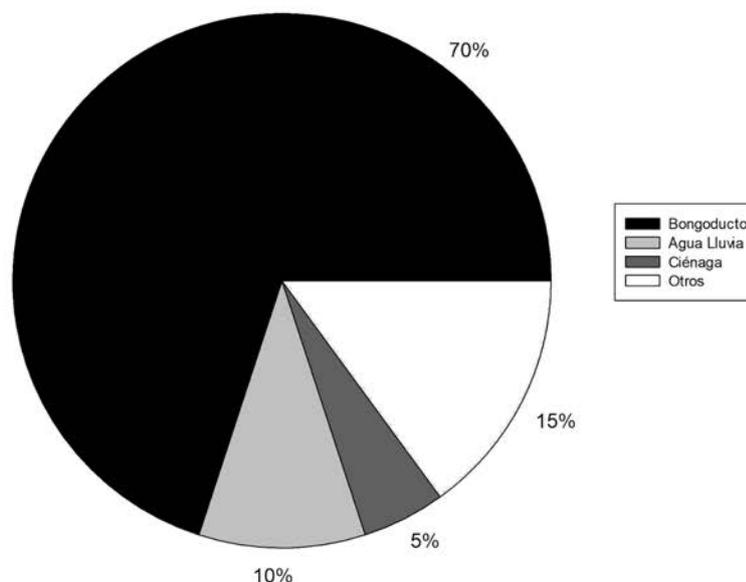


Figura 19. Distribución porcentual de los mecanismos de abastecimiento de agua potable en Nueva Venecia
Fuente: Autores

En la Figura 20 se evidencia el porcentaje de encuestados que consideran que han tenido problemas de salud relacionados al consumo del agua potable, dependiente del mecanismo de abastecimiento.



De acuerdo a esto, se interpretó que los encuestados que se abastecen de agua embotellada proveniente de otras ciudades no considera que esta agua le genere problemas de salud, sobre todo porque se genera confianza en el producto ofrecido a pesar de que es más costoso y difícil de adquirir.

De la misma manera, de los encuestados que no consideran una posible afectación a su salud debido al consumo de agua, coinciden con aquellos que recolectan agua lluvia, indicaron además la preferencia por continuar con ese modelo de abastecimiento que volver a beber agua transportada por el Bongoducto, y aunque deben modificar sus viviendas y requieren de un aporte de mano de obra y económico para establecerlos, consideran que están consumiendo agua de mejor calidad que la que proviene directamente del Bongoducto.

Por otro lado, el restante de la población (70%) considera que se ha visto perjudicada por el consumo de agua, en su mayoría coinciden con habitantes cuyo sistema de abastecimiento es el Bongoducto. Algunos resaltan además los intentos por parte de entidades públicas y privadas (Cruz Roja y otros países a nivel mundial) para mejorar la calidad del agua de consumo con medidas como el establecimiento del filtro de agua (Figura 13). Otro factor determinante de esta medida fue la presencia de enfermedades diarreicas y dolores estomacales en el momento en que se consume esta agua por primera vez.

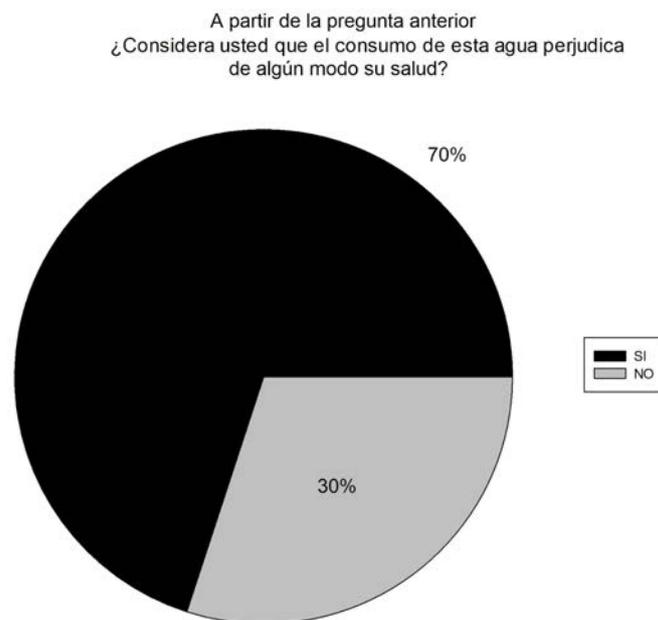


Figura 20. Percepción porcentual de la afectación del agua de consumo a la salud en Nueva Venecia
Fuente: Autores

De acuerdo con la investigación de Lugo (2018) en Nueva Venecia, para el año 2018, el 95% de la población considera que el agua que consume repercute negativamente en su salud, esta variación de resultados puede deberse a que en el presente diagnóstico se tomó en cuenta población con otros métodos de abastecimiento a diferencia del Bongoducto, como el agua lluvia.

En la Figura 21 se reconoce el número de habitantes que tiene de forma general cada vivienda. Esto es de suma importancia ya que determina la forma en la que afecta la cantidad de habitantes por hogar en la elección del modelo de abastecimiento hídrico. En Nueva Venecia, según los encuestados, la cantidad de habitantes por vivienda ronda entre cuatro (4) personas (40%) y son pocos los casos con solo dos (2) habitantes (10%) por casa.



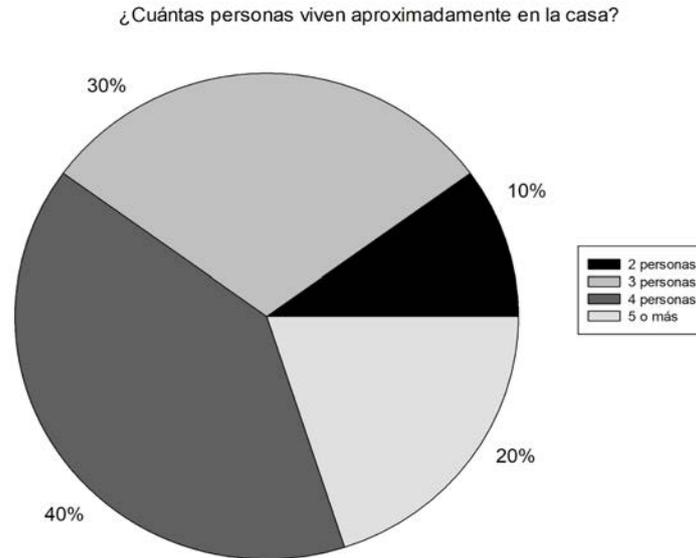


Figura 21. Distribución porcentual de la cantidad de habitantes por vivienda en Nueva Venecia
Fuente: Autores

Es posible sin embargo observar que, para los habitantes de Nueva Venecia, el recurso hídrico tiene mayor importancia cuando se destina para el consumo humano que para otra actividad como el aseo de la casa, los baños y la ropa. Esto se evidencia en la Figura 22 en donde se aprecia que hasta un 20% de los encuestados tomaba agua local de la ciénaga para lavar desde pisos hasta ropa. Resaltaron también que el agua la tomaban justo desde su casa y no era necesario pagar por ello, así que optaron por esta opción para suplir la demanda de otras actividades.

Es interesante observar que ninguno de los encuestados manifestó usar agua lluvia o agua embotellada para actividades diferentes al consumo y, sin embargo, el 80% coinciden en que usan agua del Bongoducto para algunas de las actividades diarias del hogar; esto puede deberse a que el agua del Bongoducto tiene un menor costo que el agua embotellada y no requiere modificaciones a nivel de la vivienda como si exige la recolección de agua lluvia; por ende, tiene un valor de apreciación menor.

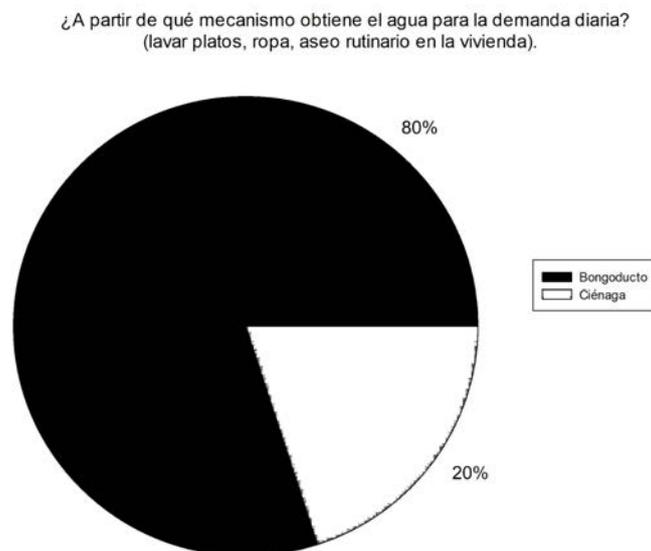


Figura 22. Mecanismos de abastecimiento para actividades relacionadas con el agua en Nueva Venecia
Fuente: Autores



Para finalizar las encuestas enfocadas a la dimensión social, se preguntó acerca de la aceptación hacia la recolección de agua lluvia; se quiso identificar cómo la comunidad interpretaba el establecimiento de un método no convencional para el abastecimiento. Así mismo, en el desarrollo de este punto se les comunicó a los encuestados este proyecto (propuesta de un sistema sostenible de abastecimiento de agua potable en el corregimiento de Nueva Venecia, Magdalena) de forma general, para reconocer si sería aceptado por los habitantes.

A pesar de que el agua lluvia tiene mayor apreciación en la comunidad que el agua que viene del Bongoducto, un 35% de los encuestados no consideran que la recolección de agua lluvia sea una solución viable para su comunidad, debido principalmente a que la implementación podría ser costosa y tendrían que modificar la estructura de su vivienda. Así mismo, manifestaron que la solución para ellos sería optar por un modelo convencional que contará con tubería de acueducto y alcantarillado. Por otro lado, el 65% de los habitantes, creen que un sistema de captación de agua lluvia sería adecuado, debido a la reducción en la inversión diaria, mejoraría la calidad del recurso y así mismo podrían obtener agua que puede ser usada para el consumo y para las actividades diarias de las viviendas.

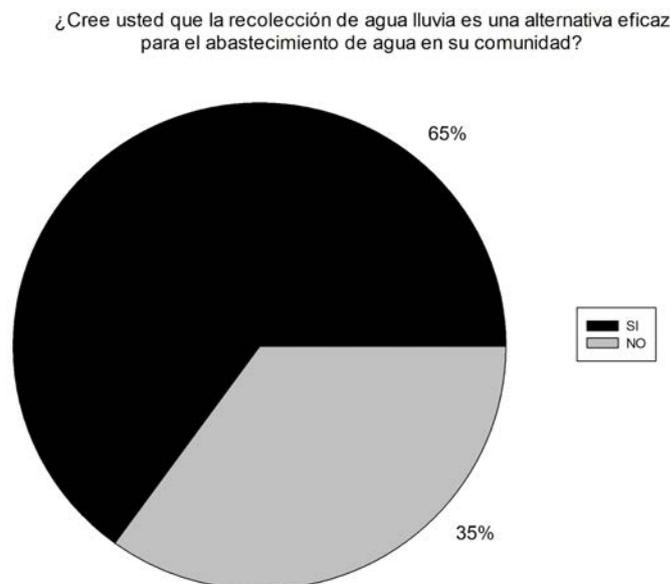


Figura 23. Porcentaje de la aceptación hacia la alternativa de recolección de agua lluvia
Fuente: Autores

4.1.2. Análisis Estadístico de las encuestas de tipo económico

A continuación, se presentan los resultados de las encuestas realizadas desde la dinámica económica. Estas se realizaron, con el fin de analizar el gasto económico diario que los habitantes destinan para el abastecimiento de agua que proviene netamente del Bongoducto.

Tabla 5. Resultados de las encuestas dirigidas a la comunidad de tipo económico

Diagnóstico Económico			
Pregunta	Opciones	Total	Porcentaje (%)
¿Cuánto invierten diariamente en el abastecimiento hídrico?	\$1.000	1	5
	\$2.000	2	10
	\$3.000	2	10
	\$4.000 o más	15	75

Fuentes: Autores



La Figura 24 indica como el gasto diario en agua repercute en las inversiones económicas de cada familia, el 75% de los encuestados debe pagar más de \$4.000 diarios para contar con seguridad hídrica, este número corresponde, sobre todo, a las personas que viven en casas con más de cuatro habitantes y que invierten en agua embotellada como mecanismo de abastecimiento, debido esencialmente al elevado costo de la gasolina para el transporte a tierra firme. A partir de lo anterior y sabiendo que una canasta de 55 litros tiene un costo de entre \$3.000 a \$4.000 (información suministrada por la comunidad), es posible afirmar que los 55 L son usados para el consumo de cuatro a cinco personas (Figura 21). De esta manera, se calcula la demanda aproximada de agua per cápita en Nueva Venecia en 15L/hab/día (valor que coincide con lo recomendado por la OMS).

Para el desarrollo de esta pregunta en la respectiva salida de campo (Nueva Venecia en diciembre 7 al 9 del 2018), se tuvo que entablar una comunicación de forma directa con la persona encuestada, debido a que las unidades de volumen de agua captada varían entre canastas o pimpinas que no poseen una capacidad estándar.

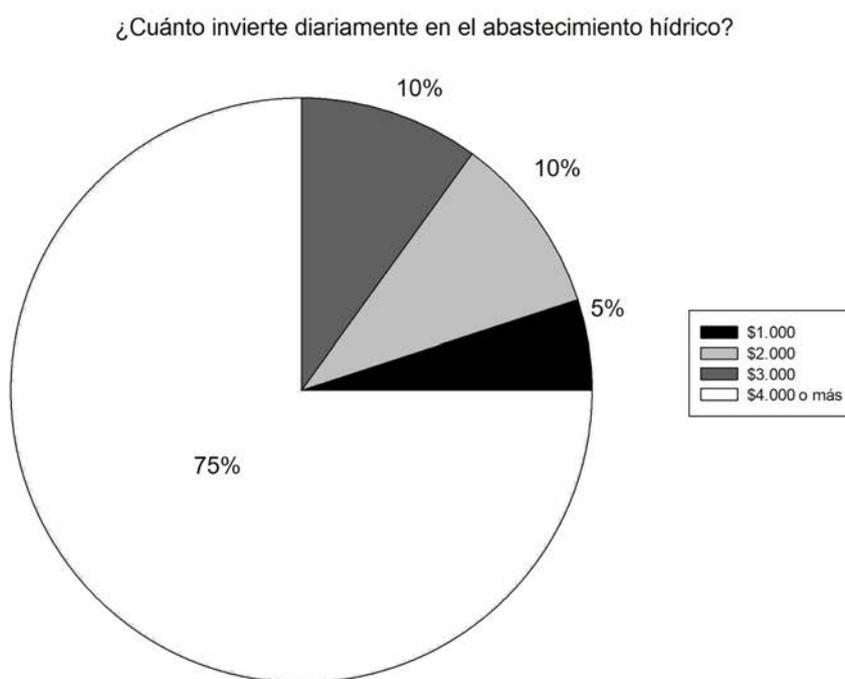


Figura 24. Cantidad porcentual de inversión diaria en agua en Nueva Venecia
Fuente: Autores

Adicionalmente, Lugo (2018) consultó acerca de la necesidad de inversión en el sistema de abastecimiento de agua, la totalidad de los encuestados consideraron que se requieren de medidas económicas para solventar la problemática actual.

4.1.3. Análisis Estadístico de las encuestas de tipo ecológico

Tabla 6. Resultados de las encuestas dirigidas a la comunidad de tipo ecológico.

Diagnóstico Ecológico			
Pregunta	Opciones	Total	Porcentaje (%)
¿Considera que la actividad de la zona bananera perjudica la calidad del agua de la ciénaga?	Sí	6	30
	No	14	70

Fuentes: Autores



En la Figura 25, se puede identificar los resultados obtenidos de la dimensión ecológica. Con la pregunta ¿Considera usted que la actividad de la Zona Bananera perjudica la calidad del agua de la ciénaga?, se pretendía analizar la percepción de la comunidad hacia la Zona Bananera, debido a que es uno de los actores principales en la realización de este proyecto. La Figura 25, evidencia que hasta el 70% de los encuestados consideran que existe una afectación de manera directa a la ciénaga y específicamente a Nueva Venecia, derivada de las actividades agrícolas de la zona, tanto palmeros como bananeros, relacionados a la mortandad de peces y manglares. Por otra parte, el 30% de los encuestados señaló que no cree que exista una afectación ambiental directa debido principalmente a la lejanía de los cultivos.

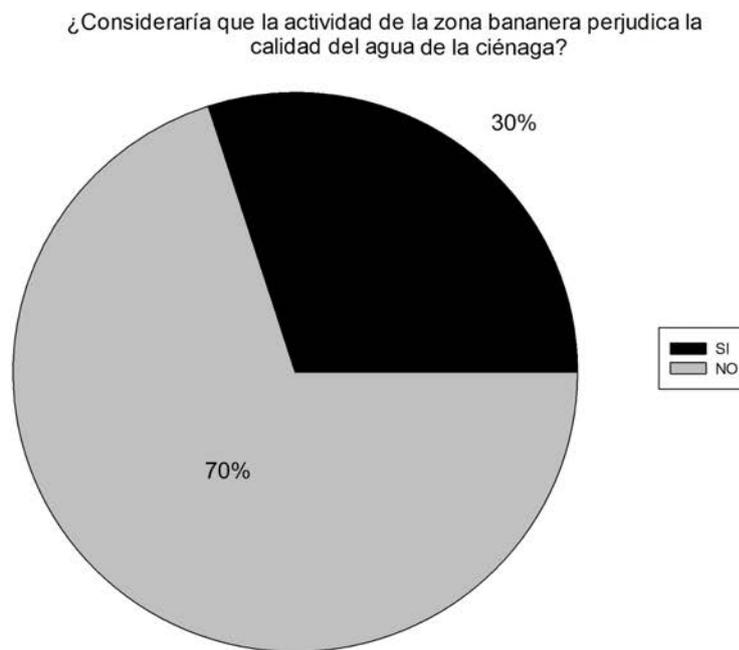


Figura 25. Percepción de la afectación de las actividades agrícolas de la Zona Bananera en Nueva Venecia
Fuente: Autores



5. Determinación de parámetros de calidad del agua

Para la identificación de algunos parámetros fisicoquímicos del agua y su posterior análisis, se realizó el registro en tres (3) puntos de muestreo dentro del área de influencia del corregimiento de Nueva Venecia (Figura 26). Cada uno, se categorizó de acuerdo a las siguientes siglas: para la muestra tomada en Nueva Venecia se nombró NV, la muestra de agua lluvia se denominó AL y finalmente la que se obtuvo directamente del Bongoducto es BD.

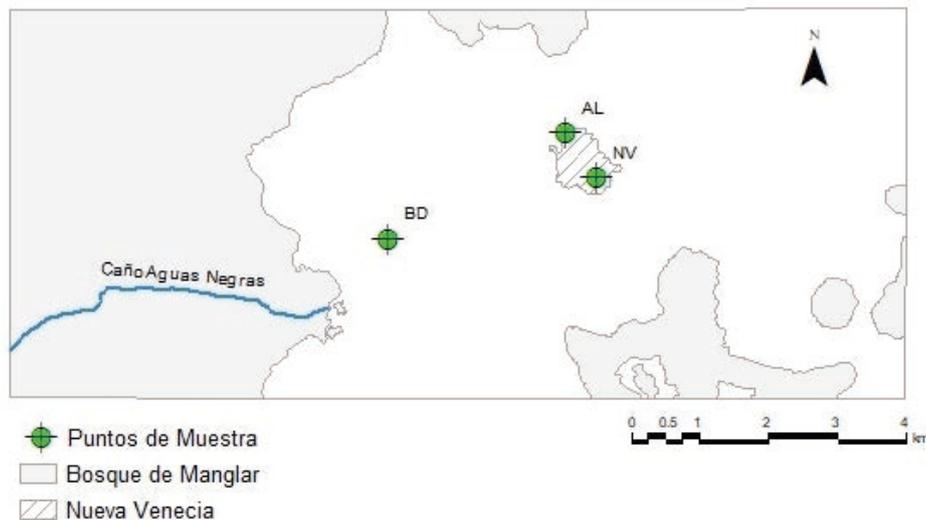


Figura 26. Puntos de Muestreo del corregimiento de Nueva Venecia
Fuente: Autores

Se tomaron estos puntos ya que son los que presentan una mayor influencia en el consumo de la población. El primero (NV) fue en donde se encontraban los habitantes de Nueva Venecia y realizaban los vertimientos de forma directa a la ciénaga. Luego se tuvo en cuenta el consumo diario de agua, por lo que se optó por tomar la muestra en el Caño Aguas Negras recolectada en el Bongoducto y posteriormente distribuida en la comunidad (BD), de la misma forma se tomó el agua lluvia (AL) como uno de los sistemas de abastecimiento usados en la comunidad.

5.1. Determinación de parámetros fisicoquímicos

Para las tres (3) muestras BD, NV y AL se determinaron los parámetros hídricos que a continuación se presentaran en una tabla general de las muestras, parámetro y resultado obtenido de forma general.

Tabla 7. Parámetros químicos en agua tomada en tres (3) puntos del complejo pajarales

Muestra	Parámetros					
	Fosfatos mg/L(PO_4) ³⁻	Sulfatos mg/L(SO_4) ²⁻	Dureza Total mg/L CaCO_3	Cloruros mg/L Cl^-	pH	Conductividad $\mu\text{S}/\text{cm}$
BD	2,18	170	70,5	150	10,4	171,3
NV	0,44	300	60,5	30	8,90	454,3
AL	0,44	300	59,5	10	8,99	117,4
Res. 2115 de 2007 ¹⁶	0,5	250	300	250	6,0-9,0	1.000

Fuente: Autores.

¹⁶ Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano



5.1.1. Determinación de Sólidos Totales.

Para la determinación de los Sólidos Totales (ST) por medio de la ecuación (2), se hizo la caracterización de los tres (3) puntos de muestreo, en donde se determinaron: Solidos Suspendidos totales (SST), divididos en Solidos Suspendidos Fijos (SSF) y Solidos Suspendidos Volátiles (SSV). Así como Solidos Disueltos Totales (SDT) que se subdividen en Solidos Disueltos Fijos (SDF) y Solidos Disueltos Volátiles (SDV).

En la Tabla 8, se presentan los resultados obtenidos del ensayo de Sólidos Totales (ST) en las tres (3) muestras. De la misma forma, se encuentran los resultados de la carga másica de cada categoría relacionada al resultado de ST y su correspondiente porcentaje de acuerdo a la masa total.

Tabla 8. Resultados del ensayo de Sólidos Totales de tres muestras de agua en el complejo pajarales

Carácter	Bongoducto (BD)		Nueva Venecia (NV)		Agua Lluvia (AL)	
	Masa (mg/L)	Porcentaje (%)	Masa (mg/L)	Porcentaje (%)	Masa (mg/L)	Porcentaje (%)
ST	136,0	100	405,5	100	17,0	100
SST	48,0	35	321,0	79	12,0	71
SSF	34,5	25	110,0	27	7,0	41
SSV	13,5	10	211,0	52	5,0	29
SDT	88,0	65	84,5	21	5,0	29
SDF	28,5	21	30,5	8	2,0	12
SDV	59,5	44	54,0	13	3,0	18

Fuente: Autores

5.2. Análisis de Parámetros Químicos.

A continuación, se presenta el análisis estadístico de los distintos parámetros evaluados en los puntos de muestreo, es decir Agua del Bongoducto (BD) proveniente de la desembocadura del Caño Aguas Negras, Agua del corregimiento de Nueva Venecia (NV) y Agua Lluvia (AL); para así establecer un criterio de comparación de los respectivos datos.

5.2.1. Contenido de Fosfatos

El contenido promedio de fosfatos para la muestra tomada en el punto correspondiente al Bongoducto (BD), presenta el valor más alto (2,18 mg/L) de concentración de iones fosfato (PO_4^{3-}), valor que sobrepasa el límite permisible establecido en la resolución 2115 de 2007. La presencia de fosfatos está asociada principalmente al uso actual del caño como receptor de pesticidas organofosforados y abonos orgánicos, derivados de las actividades agrícolas en la zona occidental de la CGSM, especialmente de los monocultivos de palma de aceite (Pacheco, Flores, & Espluga, 2013), que por escorrentía contaminan los ríos aportantes de la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) como el caño Aguas Negras (Bolaños, Cordero, & Segura, 2017).

Los otros dos (2) puntos de muestreo (Nueva Venecia y Agua Lluvia), no sobrepasan el límite permisible por la normativa, con valores que se encuentra entre 0,0 y 0,5 mg/L de (PO_4^{3-}); la presencia de fosfatos para el punto NV se puede relacionar a los vertimientos directos de excretas humanas y animales que se presentan en Nueva Venecia, debido a que, como se mencionó en el transcurso de este documento, no cuenta con un servicio de acueducto y alcantarillado (Pütz, 2010). Así mismo, pueden estar asociados al uso de detergentes y productos de limpieza en vertimientos domésticos (Pacheco, Flores, & Espluga, 2013).



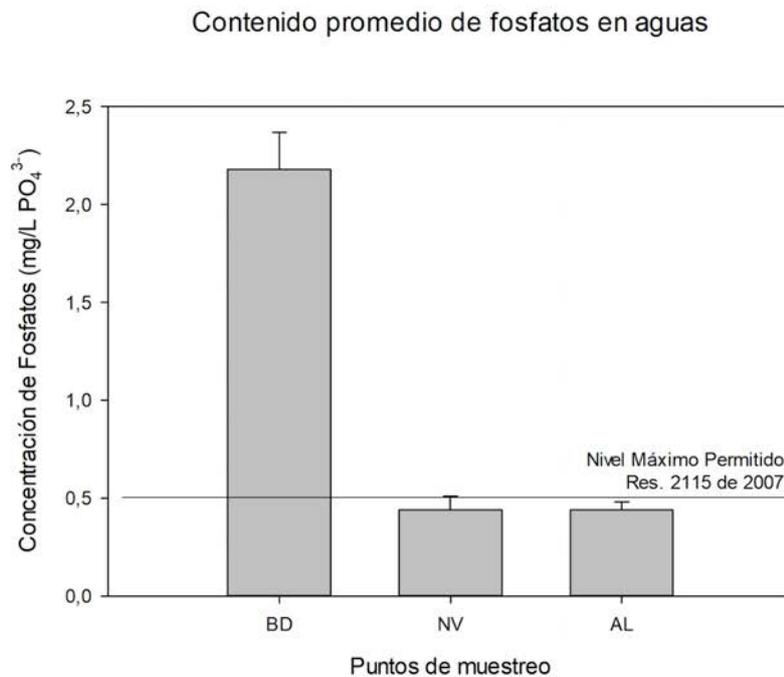


Figura 27. Contenido promedio de fosfatos en los puntos de muestreo.
Fuente: Autores

De forma general es posible mencionar que un alto contenido de fosfatos podría aumentar considerablemente la proliferación de algas que reducen la cantidad de oxígeno (O_2) en las fuentes hídricas e incrementa la mortandad de especies (Villamar, 2009).

A modo de comparación, el Invemar (2017) en el año 2017 realizó un estudio que se denominó: “*evaluación de las condiciones ambientales de la Ciénaga Grande de Santa Marta en el marco del plan de acción para la atención de la Calamidad pública*” con el fin de conocer la calidad del agua en distintas zonas de la ciénaga. Con respecto al contenido de fosfatos (PO_4^{3-}), el punto más cercano a alguno de los que se tomaron para este trabajo, fue el de Nueva Venecia (NV), donde se obtuvo una concentración de 0,03 mg/L. Indicando que a comparación del valor obtenido en esta investigación (0,5 mg/L), los niveles de fosfatos incrementaron significativamente, debido a que en la temporada en la que se realizó la visita de campo, se contaba con precipitaciones mínimas, lo que pudo agudizar las concentraciones de (PO_4^{3-}).

5.2.2. Contenido de Sulfatos

A diferencia de los resultados de la prueba de fosfatos, el contenido de sulfatos en agua para el caso del Bongoducto (BD) fue el menor de los registrados con un promedio de 170 mg/L, y no sobrepasa el límite estipulado por la resolución 2115 que es de 250 mg/L de ion SO_4^{2-} . Esto se debe a que el agua tomada del Bongoducto no ha entrado en contacto directo con Sulfato de Aluminio ($AL_2(SO_4)_3$) debido a que la sustancia es adicionada al momento en que llega al punto de almacenamiento y posterior distribución.

Sin embargo, para los otros dos (2) casos (NV y AL) la concentración de sulfato llegó hasta los 300 mg/L. Para el caso del agua lluvia, se asocia al uso del Sulfato de Aluminio como coagulante en los procesos locales de la clarificación del agua. Esto teniendo en cuenta que la muestra de Agua Lluvia fue tomada una vez recolectada y tratada por los habitantes con el coagulante.



Un contenido de sulfatos mayor a 200 mg/L puede causar trastornos gastrointestinales y deshidratación. Se relaciona de forma directa con la alta presencia de Enfermedades Diarreicas Agudas (EDA's) en Nueva Venecia. En algunos casos, estos altos valores de Sulfatos pueden cambiar el sabor del agua tornándola ligeramente más amarga. En cuanto a la muestra tomada en el corregimiento de Nueva Venecia (NV), la presencia de sulfatos se asocia a los relictos de coagulante que se derivan de procesos de limpieza de tanques, bongos y al agua residual proveniente de agua tratada con sulfato de aluminio; puede deberse también a las emisiones de dióxido de azufre ocasionadas por las actividades humanas que provienen, principalmente, por el uso del combustible diésel en la ciénaga (Bolaños, Cordero, & Segura, 2017).

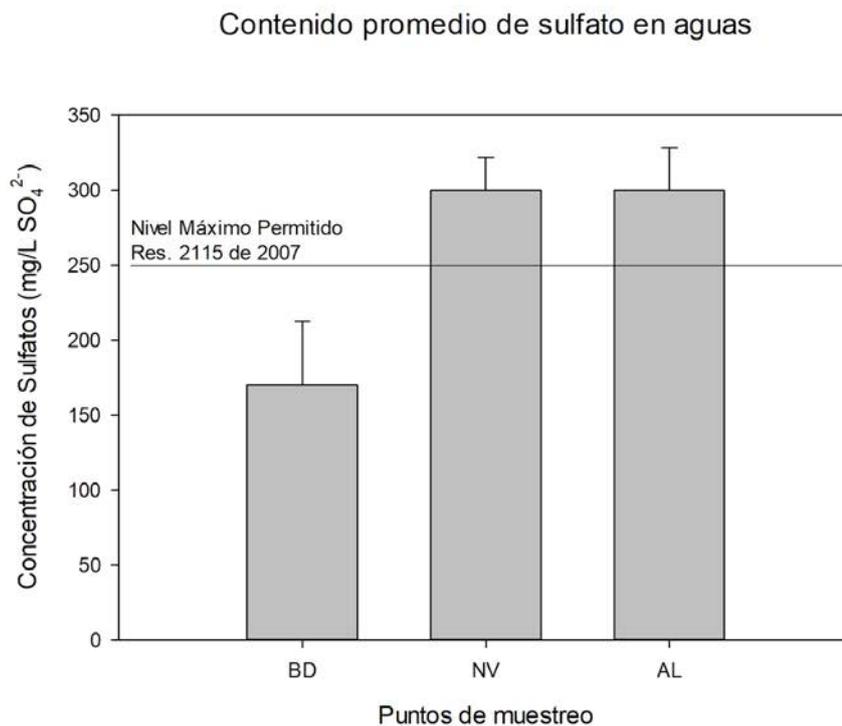


Figura 28. Contenido promedio de sulfatos en muestras de agua del Bongoducto (BD), Nueva Venecia (NV) y de agua lluvia (AV).
Fuente: Autores

5.2.3. Dureza Total

La Organización Mundial de la Salud (OMS) menciona que existen varios estudios epidemiológicos, ecológicos y analíticos que identifican una relación entre la dureza total con las enfermedades cardiovasculares (Gutiérrez, 2006). Ninguna de las muestras registró un exceso en la concentración de carbonato de calcio de acuerdo con el valor máximo permisible estipulado por la resolución 2115 de 300 mg/L.

La muestra con mayor concentración de carbonatos resultó ser la del agua usada en el Bongoducto con 70,5 mg/L de CaCO_3 , puede deberse al uso de sales carbonatadas usadas como fertilizantes en la mayoría de los cultivos de la zona (Gutiérrez, 2006). Así mismo, las sales minerales disueltas en el agua aumentan la presencia de Sólidos Disueltos Totales (SDT) como se aprecia en la Figura 34



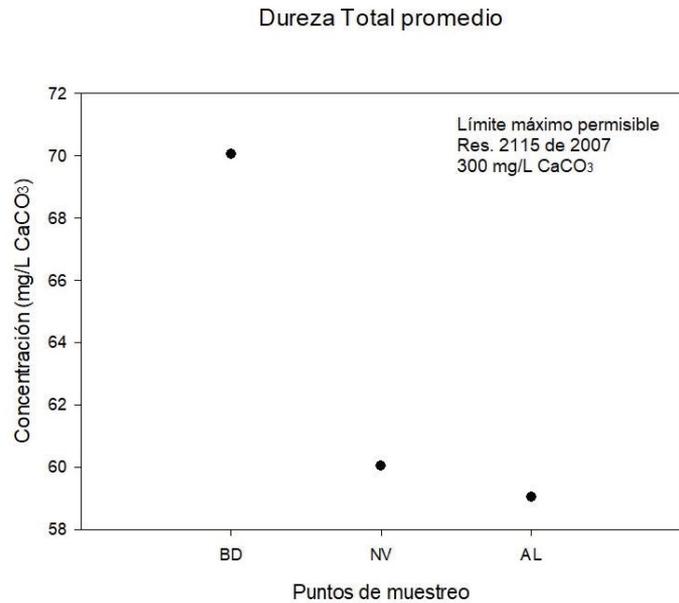


Figura 29. Dureza total promedio para los tres puntos de muestreo expresada en concentración de carbonatos de calcio en mg/L

Fuentes: Autores

5.2.4. Contenido de Cloruros

En ninguno de los tres (3) casos de muestreo, se evidenció una concentración de cloruros mayor al límite exigido por normativa de 250 mg/L; esto no se esperaría en el caso de la muestra de Nueva Venecia, debido a la alta presencia de vertimientos domésticos, en especial al alto contenido de cloruros que proviene de la orina humana (Ramírez, Restrepo, & Viña, 1997). Cabe resaltar que el contenido de cloruros es dependiente de la salinidad del agua, por tanto, si se tiene en cuenta que la masa de agua de la ciénaga posee una salinidad variable a lo largo del año, entonces se puede afirmar que el contenido de cloruros también variará. La concentración dependerá también de factores como las precipitaciones, las dinámicas de los caños aportantes de agua dulce y la cantidad de agua salada que llega desde el caribe hasta el complejo lagunar.

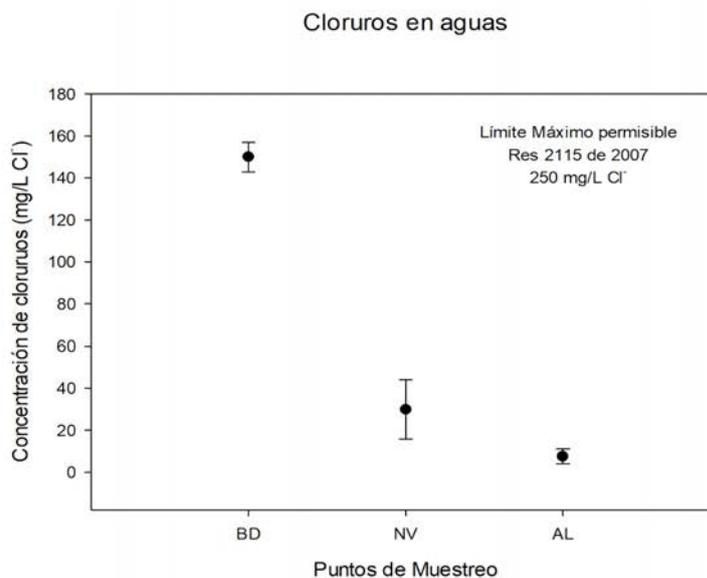


Figura 30. Cloruros en agua del caño Aguas Negras (BD), Nueva Venecia (NV) y agua lluvia recolectada en la comunidad (NV)

Fuentes: Autores



5.2.5. pH

El Potencial de Hidrógeno (pH) más alto se presentó en la muestra del Bongoducto (BD), con un valor de 10,4. Se puede relacionar nuevamente a las actividades agrícolas de la zona, debido a los minerales derivados de procesos de fertilización que son arrastrados por escorrentía superficial. Así mismo, cabe resaltar que este valor se encuentra fuera de los parámetros establecidos por la norma 2115 del 2007 que establece los niveles de pH para el consumo humano entre 6,5 y 9,0.

Los valores de pH registrados en los puntos NV y AL se encuentran dentro del rango establecido por la norma con valores que oscilan entre 8,8 y 9,0, un nivel mayor de 9,0 y menos de 6,0 en el pH puede romper el balance entre los químicos del agua causando condiciones tóxicas para las especies que se encuentren allí (FOD, 2013).

De la misma forma, el trabajo investigativo realizado por invemar (2017) en el 2017 corrobora que los valores de pH en el punto NV se encuentran dentro del límite permitido por la Resolución 2115 de 2007, debido a que en el año 2017 el pH de la zona más cercana al punto NV estaba en un rango de 8,0 a 8,5. Demostrando que su valor ha ido aumentando en el transcurso de los años por el aumento de las actividades agrícolas en la zona de estudio.

El mismo trabajo investigativo, revela que los valores de pH en el Caño de Aguas Negras (punto cercano donde se toma el agua para el Bongoducto BD) están dentro de la normatividad permitida porque en el 2017 con valores entre 7,0 y 8,0 aproximadamente. Resultado que indica que en el transcurso de un año su valor cambio de forma drástica ya que pasó de un rango permitido a uno por fuera de la norma, fenómeno atribuible al aumento de las áreas agrícolas en la ciénaga (Aguilera, 2011).

pH promedio del agua

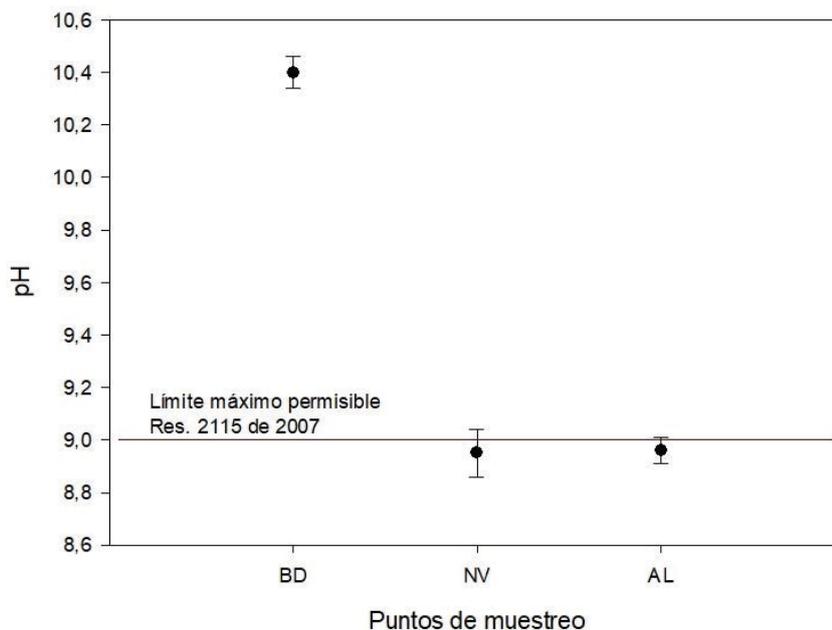


Figura 31. pH promedio del agua en los tres puntos de muestreo.
Fuentes: Autores



5.2.6. Conductividad en agua

Ninguno de los tres (3) resultados llego sobrepasar la normatividad establecida por la Resolución 2115 del 2007 que menciona un máximo permitido de $1.000 \mu S/cm$; a pesar de esto, se reconoce que el valor más alto de conductividad se obtuvo en el punto tomado en Nueva Venecia (NV), se relaciona con la elevada presencia de sólidos totales que aumentan la conductividad drásticamente. Así mismo, debido a los vertimientos continuos que se realizan en el punto de muestreo NV por parte de las excretas humanas, los niveles de conductividad aumentan de la misma forma (Castro, Zúñiga, & Mora, 2017).

Tanto la muestra BD como AL, presentan los niveles más bajos de conductividad. Aun así, el valor de BD se encuentra más alto $71,4 \mu S/cm$, debido a la presencia de sales y mineral en el caño aguas negras. Por otro lado, el resultado de la muestra AL es menor porque se obtuvo luego de un proceso de filtración (Figura 13) que mejora la calidad del recurso (Castro, Zúñiga, & Mora, 2017).

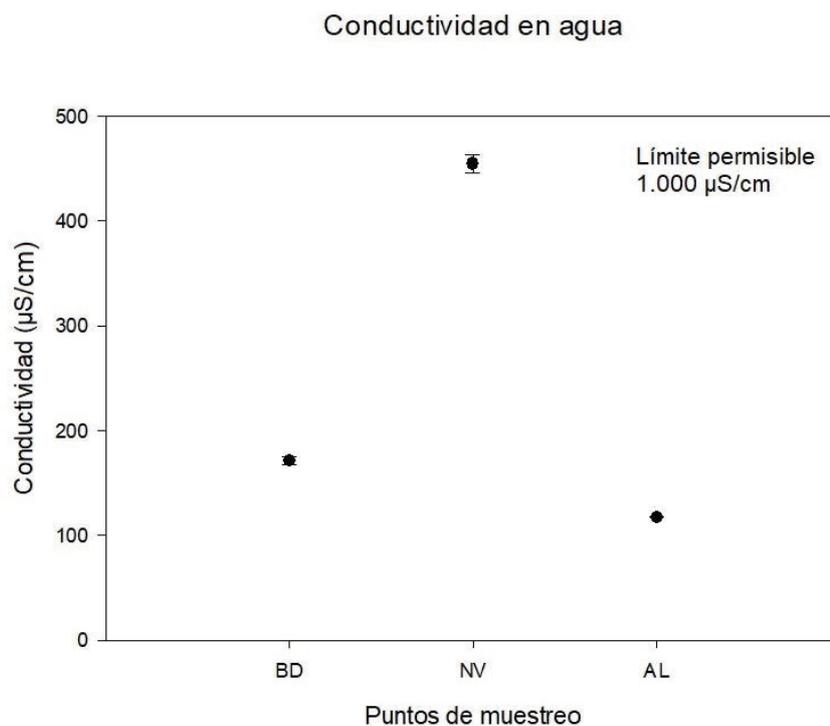


Figura 32. Conductividad en los tres puntos registrados; Bongoducto (BD), Nueva Venecia (NV) y agua lluvia (AL)
Fuentes: Autores

5.2.7. Contenido de Sólidos Totales.

A continuación, se presentará el análisis de los Sólidos Totales y los respectivos resultados que se obtuvieron de los distintos puntos de muestreo: Bongoducto (BD), Nueva Venecia (NV) y agua lluvia (AL).

La Figura 33 presenta la cantidad de Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Sólidos Disueltos Totales (SDT) para los tres (3) puntos de muestreo (BD, NV y AL), se puede evidenciar que la muestra correspondiente al corregimiento de Nueva Venecia (NV), presenta el valor más alto de SST con aproximadamente 300 mg/L (79% del total de la muestra). Esto se debe a los vertimientos directos (heces fecales, residuos de plásticos y demás materiales) que provienen de los habitantes del corregimiento y se relacionan al inadecuado modo de recolección, acopio de residuos sólidos y falta de un sistema de alcantarillado no convencional.



La presencia de un alto contenido de SST disminuye la cantidad de luz que es infiltrada en el agua, perjudicando la actividad fotosintética de algunas especies. Así mismo, se reduce la temperatura y el nivel de oxígeno perjudicando el ecosistema marino (Vargas & Rangel, 2012). De acuerdo a la Resolución 0883 del 2018 la cantidad de SST permitidos en Colombia para el agua residual doméstica es de 100 mg/L, demostrando que solamente sobrepasa la norma la muestra NV por lo anteriormente dicho. De la misma manera, este valor está relacionado con la carga patógena que puede ser transportada en el agua debido a la adherencia de organismos a las partículas (Ramírez, Restrepo, & Viña, 1997).

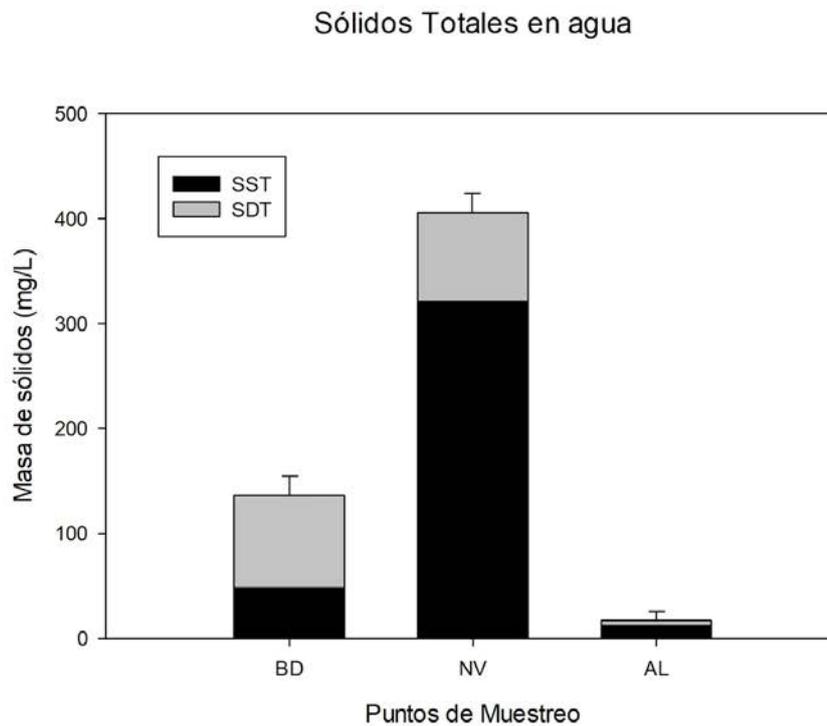


Figura 33. Sólidos Totales en muestras de agua de Bongoducto (BD), del corregimiento (NV) y de agua lluvia (AL)
Fuentes: Autores

En el caso del Agua Lluvia (AL) se evidencian valores más pequeños de SST debido al uso del filtro (Figura 13). Por otro lado, el punto del BD presenta una carga másica de 48mg/L, debido a que la zona no cuenta con vertimientos directos por parte del corregimiento de Nueva Venecia. Evidencia, además, una proporción mayor de Sólidos Disueltos Totales (SDT) que asciende al 44% de los sólidos totales en la muestra; estos están asociados a compuestos tanto orgánicos como inorgánicos solubles en agua, representados como la fracción orgánica de la muestra; conformados a su vez de materia carbonácea, grasas y proteínas, que aumentan: la dureza del agua, pH, conductividad, entre otros (Ramírez, Restrepo, & Viña, 1997).



Sólidos totales en el agua de Bongoducto

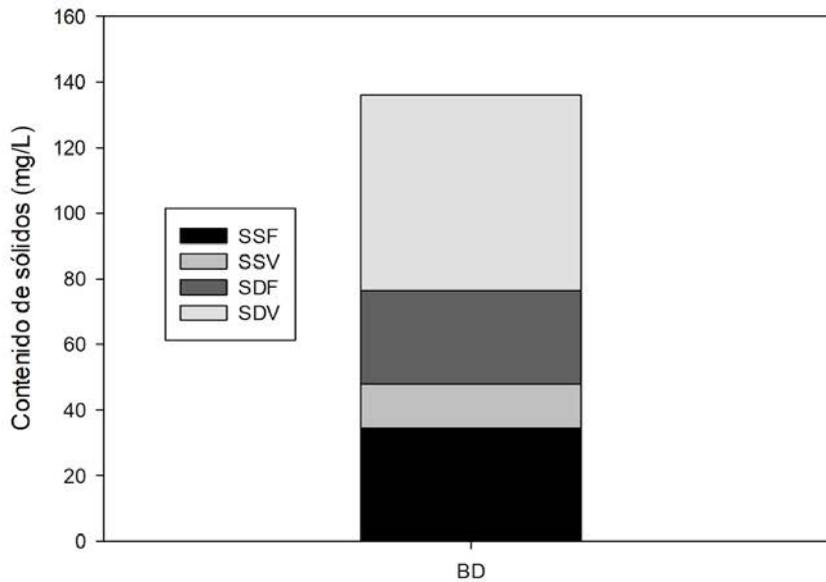


Figura 34. Carga de sólidos en el agua de Bongoducto (BD)
Fuentes: Autores

Es importante mencionar que el caño Aguas Negras alimenta el complejo lagunar desde el Río Magdalena, trayendo consigo parte de la carga contaminante difícil de depurar y recogiendo a su vez compuestos que llegan al caño por escorrentía derivado de la actividad palmera del occidente de la ciénaga, en su mayoría, compuestos orgánicos persistentes disueltos en agua. De acuerdo a la agencia de protección ambiental de los EE.UU., el nivel máximo permitido de SDT para el agua potable es de 500 mg/L (Sigler & Bauder, 2012).

Sólidos totales en el agua de Nueva Venecia

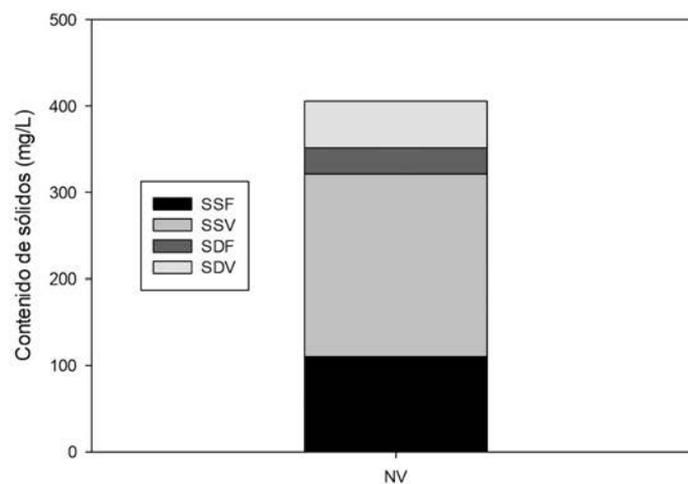


Figura 35. Carga de sólidos en el agua de Nueva Venecia (NV)
Fuentes: Autores

En cuanto al Agua Lluvia (AL), la carga de Sólidos Totales se atribuye a las condiciones de almacenamiento, ya que este recurso es recolectado por medio de canaletas conectadas al techo de cada una de las viviendas para ser almacenada en tanques. Esto también se relaciona con los relictos



del coagulante usados para la clarificación. A pesar de esto, la carga de sólidos es baja (17 mg/L) a comparación de los demás puntos de muestreo con valores que sobrepasan los 100 mg/L.

Sólidos totales en el agua lluvia

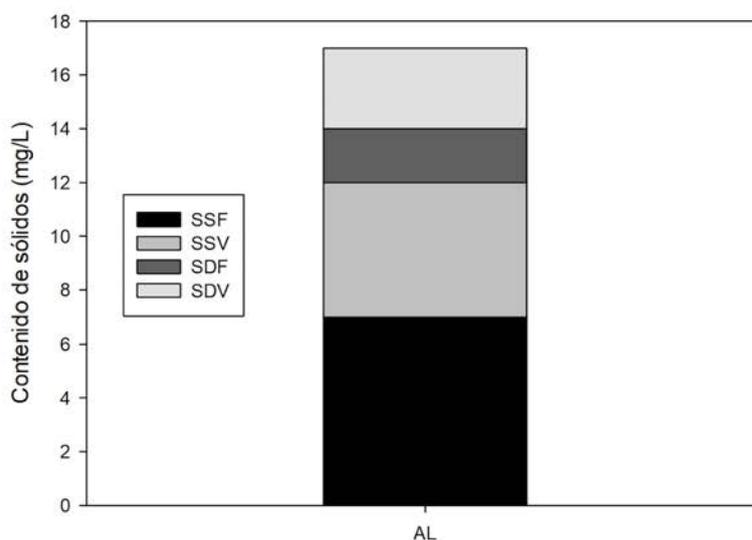


Figura 36. Carga de sólidos en el agua lluvia clarificada (AL)

Fuentes: Autores

6. Diagnóstico socio-ambiental

A partir de los resultados, análisis, revisión bibliográfica, entrevistas y encuestas que se hicieron en la visita de campo, se desarrolló un diagnóstico preliminar de la situación actual de los habitantes de Nueva Venecia con respecto al abastecimiento de agua potable. Así mismo, se logró reconocer la falta de fuentes bibliográficas actualizadas que identifiquen las diversas problemáticas sociales, ambientales, económicas y del recurso hídrico de buena calidad para las viviendas palafíticas de Nueva Venecia. Otorgando relevancia al presente análisis socioambiental como punto de partida de la planificación ambiental en el territorio, debido a que describe algunas dinámicas poblacionales alrededor del agua, que no han sido registradas con antelación.

La problemática está enmarcada en un sistema ecológico y social complejo que reúne las dinámicas propias de todas las actividades que se llevan a cabo en la ecorregión de la Ciénaga Grande de Santa Marta, integrando así la forma en la que los habitantes de Nueva Venecia establecen una relación entre el ecosistema de la Ciénaga y la acción que ejerce el ser humano sobre la misma. Esto se debe a que la comunidad es consciente de la variedad de problemáticas que la ciénaga enfrenta ya sea por la mortandad de peces o por la inadecuada calidad del agua que usan para el desarrollo de las actividades diaria y de consumo.

Lo anterior sumado a las precarias condiciones de vida, la baja educación y la falta de personal especializado, genera un deterioro de las condiciones hídricas debido, no solo a las actividades industriales, sino también a las malas prácticas que adoptan los pobladores del corregimiento. A pesar del intento de los líderes sociales locales por incentivar obras que solventen las necesidades básicas, los avances han sido incipientes y muchas veces no se adaptan a las realidades comunitarias, más aún en las particularidades de Nueva Venecia.

Las alternativas planteadas hasta el momento, por entidades públicas y privadas, para establecer un sistema de abastecimiento hídrico en Nueva Venecia, no han sido efectivas o llegan a ser demasiado costosas, esto puede deberse a que no se han planteado soluciones que partan desde el entendimiento



de la población, como un protagonista fundamental en todos los procesos de planificación. Se establece entonces la alternativa de captar agua desde una fuente diferente a los puntos convencionales de captación de Sitionuevo, es decir el caño Aguas Negras y del río Magdalena.

La recolección de precipitación horizontal y vertical, por medio de mecanismos no convencionales, permite acoplar las particularidades de la comunidad a un sistema más acorde a las condiciones ambientales del lugar, teniendo en cuenta la calidad del agua lluvia en comparación de los otros puntos de captación, que, a su vez, ayudaría de forma directa a la reducción de costos en abastecimiento hídrico.

La presente investigación relaciona entonces dos actores primordiales en la cotidianidad de la ciénaga, las comunidad palafítica más relevante (Nueva Venecia) y las fincas bananeras, de manera que se plantea un aprovechamiento de los residuos agrícolas derivados del cultivo de banano; las fibras naturales y los sacos de PEBD, como una alternativa para implementar un material de construcción local, de menor impacto y con propiedades fisicoquímicas que contribuyan una infraestructura de captación de agua sostenible y específica para Nueva Venecia.



CAPÍTULO IV. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

Objetivo Específico 2. Elaborar, a partir de residuos vegetales y poliméricos, un material sostenible para uso constructivo de un sistema de abastecimiento de agua potable.

I. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para el diseño constructivo del sistema de abastecimiento de agua, se recolectaron inicialmente los materiales básicos elegidos con anterioridad: la matriz polimérica de Polietileno de baja densidad (PEBD) derivado de los sacos que envuelven los racimos del banano en los cultivos de la Zona Bananera; para la fase difusa se utilizó la fibra natural de banano en sus tres (3) estructuras de potencial aprovechamiento: pseudotallo (PT), vástago (VA) y residuos foliares (RF). En el transcurso de este capítulo, se presentarán las fases de recolección y caracterización de los materiales, así como el diseño metodológico de la realización del material y finalmente el biocomposito elegido para el sistema de abastecimiento.

1. Recolección de muestras

El material vegetal (PT, VA y RF) fue obtenido en una finca bananera de Guacamayal, en la Zona Bananera y el PEBD se tomó de un centro de acopio y aprovechamiento en Sevilla, Zona Bananera de Magdalena (Figura 37).

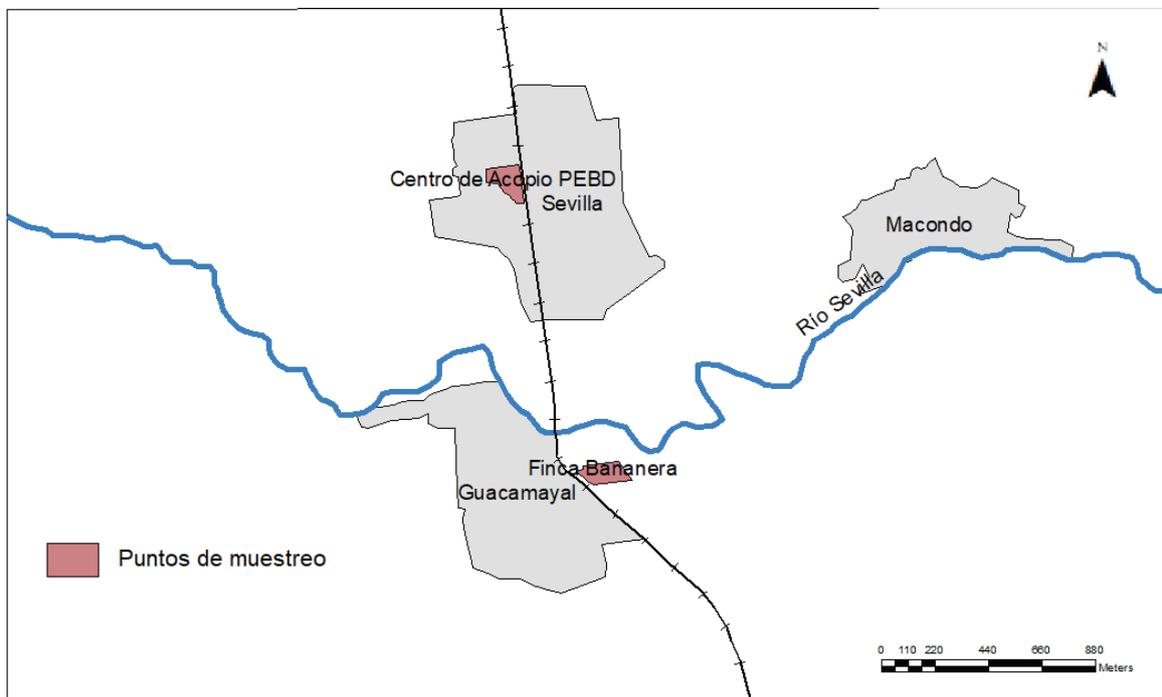


Figura 37. Puntos de recolección de muestras en Zona Bananera
Fuentes: Autores

1.1. Recolección del material vegetal

Antes de explicar el proceso de caracterización y recolección del material vegetal, es preciso mencionar algunas particularidades del cultivo de banano. Este es un cultivo representativo en el país, debido a su reconocimiento en el mercado mundial. El departamento del Magdalena es pionero nacional en el cultivo de banano orgánico usado para exportación; de 6 705.677 hectáreas de cosecha de banano en el país, el departamento del Magdalena cuenta con 159.081 hectáreas, equivalente al 2,4% y al 3,9% de la productividad nacional (ASBAMA, 2016).



De la misma forma, cabe resaltar que el banano requiere de grandes cantidades de agua para la formación de sus diversas estructuras vegetales, mayoritariamente compuestas por agua. Esto permite que su cultivo se desarrolle en zonas donde existen altos niveles de precipitación anual (2.286 mm). Así mismo, la composición química promedio del banano se divide de la siguiente manera:

Tabla 9. Composición química del banano Cavendish

Componentes	Contenido porcentual (%)
Celulosa	33.26
Lignina	36.78
Hemicelulosa	13.12
Humedad	13.50
Cenizas	2.39

Fuente: (Manrique & Rivera, 2012)

Sabiendo esto, para la recolección del material vegetal se tuvieron en cuenta tres (3) tejidos que, a partir de la revisión bibliográfica, tienen un potencial de aprovechamiento: el pseudotallo, denominado como PT, vástago o raquis denominado VA y los residuos foliares con las siglas RF en el transcurso del documento.

Los tejidos vegetales fueron recolectados en una finca de producción bananera a las afueras del centro poblado de Guacamayal, asociada a Coobamag y ubicada en las coordenadas 10°45'4.78"N y 74°9'20.14"O. La finca cuenta con 2,5 ha cultivadas de banano de la variedad *musa AAA williams* (subgrupo de la especie *Cavendish*) como cultivo permanente de tres años de antigüedad.

El pseudotallo (PT) se cortó de forma transversal en dos (2) plantas hijas con más de un metro de altura, con un peso húmedo aproximado de 3.4 Kg. Una vez que el banano fue procesado, el vástago (VA) fue extraído del lugar de disposición final (Figura 38), en donde se tomaron dos muestras enteras con un peso húmedo de 1.6 kg. Finalmente, para los residuos foliares (RF) se tomaron cuatro (4) hojas completas del suelo del cultivo con un peso húmedo de 700 g. Las muestras fueron rotuladas y guardadas en bolsas plásticas para su transporte hasta la Universidad el Bosque.



Figura 38. Muestras vegetales

A. Corte transversal del pseudotallo de banano B. Lugar de disposición final de vástagos de banano

Fuentes: Autores



1.2. Recolección de polímeros

El polímero fue recolectado en el centro de acopio y reciclaje de Sevilla, Magdalena en las coordenadas 10°45'55.89"N y 74° 9'35.92"O (Figura 39). Allí son llevados los sacos de PEBD (objeto de investigación) y otros residuos plásticos que se derivan de la actividad agrícola, como las cintas que se usan en el cultivo bananero para reconocer el crecimiento del fruto y el periodo en que se encuentra la misma; empaques plásticos defectuosos y materiales plásticos que pueden ser aprovechados, aunque en este caso solo se tomaron en cuenta los sacos de PEBD.



Figura 39. Centro de acopio de sacos de Polietileno de Baja Densidad (PEBD) en la población de Sevilla, Zona Bananera, Magdalena.

Fuente: Autores.

En dicho punto se recolectaron treinta (30) bolsas de PEBD sin triturar con un peso que oscilaba entre 20-25 g por bolsa. Cada bolsa fue revisada en el momento de su selección, ya que algunas se encontraban en mal estado y contaban con otros residuos que no podían ser removidos con facilidad. Luego de la selección de las respectivas bolsas, se procedió a empacarlas para su posterior transporte hasta el laboratorio de la Universidad el Bosque.

2. Caracterización de materiales

A continuación, se indica el pretratamiento de los materiales recolectados anteriormente, con el fin de facilitar su inclusión en el proceso de elaboración del biocomposito, posteriormente se realiza su caracterización individual antes de su combinación.

2.1. Fibra vegetal de banano

Para las muestras de pseudotallo (PT) y vástago (VA) se removió la capa superficial en su totalidad y se realizaron cortes transversales cada 20 cm para facilitar su manipulación. Todas las muestras fueron secadas a una temperatura de 70°C durante tres (3) días para remover el exceso de humedad en los tejidos. En el caso de los residuos foliares (RF), se redujo su tamaño por medio de cortes horizontales a cada hoja y se dejaron secar a temperatura ambiente durante cinco días. Para PT bastaron unos cortes suaves para desfibrar; finalmente, respecto a VA se usó un rallador de queso para el cizallamiento, dada la apreciable dureza de la fibra.

Una vez secadas las fibras, se trituraron para facilitar su manejo. Se tuvo en cuenta, además, las particulares de cada una; es posible apreciar en la Figura 40, Figura 41 y Figura 42 las diferencias morfológicas y físicas de las tres fibras evaluadas.





Figura 40. Proceso de corte, secado y tritución de las muestras de pseudotallo
Fuente: Autores



Figura 41. Proceso de corte, secado y tritución de las muestras de vástago
Fuente: Autores



Figura 42. Proceso de corte, secado y tritución de las muestras de residuos foliares
Fuente: Autores



Como se ha podido ver hasta ahora, el tratamiento usado en el proyecto es físico ya que este garantiza las propiedades de resistencia requeridas. Este no es el caso de los tratamientos químicos, que se usan, comúnmente, en el tejido del banano para la extracción de la celulosa por medio del rompimiento de los enlaces de la holocelulosa, abundantes en las fibras de banano, sin embargo, la presente investigación no pretende aprovechar un componente específico. No se recomienda una intervención con ácido sulfúrico, de acuerdo con la evidencia de Reis et. al (2007), pues el tratamiento con ácido rompe el complejo entre la hemicelulosa, la celulosa y la lignina y debilita las fibras, lo que probablemente disminuiría la resistencia mecánica de los biocompositos.

2.1.1. Contenido de humedad

Una vez tratadas las muestras, en la tabla 10 se registró la masa de las fibras de PT, VA y RF antes y después del proceso de secado, el total de los datos se encuentra en el Anexo 18. Esto se hizo con el fin de determinar la cantidad de agua en peso de cada uno de los tejidos. Se define como peso húmedo a la masa antes de secar la muestra.

Tabla 10. Contenido promedio de agua en tejidos del banano

Tejido vegetal	Porcentaje de agua en masa (%)
PT – pseudotallo	95,69
VA – vástago	90,60
RF – Residuos foliares	81,27

Fuente: autores

En la Figura 43 se presenta el contenido de humedad para cada una de las fibras, determinado por medio de la pérdida de peso después del secado de estas. Es posible observar que las tres fibras (PT, VA y RF) cuentan con porcentajes de agua en peso similares, sin embargo, las hojas (RF) presentaron el menor porcentaje (81,27%), debido a que el tejido es de un menor espesor que los otros dos evaluados. Se corroboran los valores dada su baja dispersión y se puede afirmar que todos los tejidos del banano *musa* AAA son hidrofílicos, ya que almacenan grandes cantidades de agua, especialmente el pseudotallo (PT) con un porcentaje de agua promedio de 95,69%.

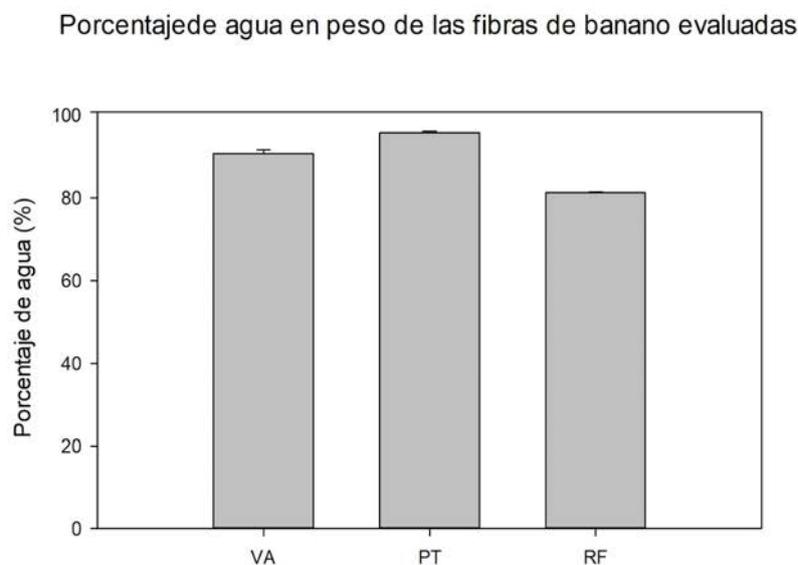


Figura 43. Contenido porcentual de agua en tejidos vegetales del banano.

Fuente: Autores



Específicamente el pseudotallo del banano, se forma mediante la unión de las vainas de las hojas, que se liberan gradualmente de sus márgenes libres para dar origen a nuevos grupos de hojas, el pseudotallo es por ende el lugar de mayor concentración de agua y provee a la planta de soporte y conexión vascular del suelo a las hojas (Rodríguez, Cayón, & Mira, 2006). Así mismo, el estudio realizado por Yuri moiseev y Damián Dubrocq (1988), destaca que el contenido de material seco del pseudotallo no llega a sobrepasar el 10% en peso. Además, El vástago posee su masa en agua mayoritariamente en su centro, debido a que es el canal de transporte de nutrientes hacia el fruto. Una vez seco, las fibras ricas en celulosa, se aglomeran dejando el interior de la fibra hueca.

2.1.2. Porcentaje de hinchamiento

Se evaluó la capacidad de cada fibra seca para absorber humedad e incorporar el agua a sus tejidos. Mediante un ensayo por triplicado, se realizó la inmersión de los tejidos en agua destilada a 70°C y 150 rpm durante seis (6) horas, registrando su masa cada 15 minutos, 30 minutos y cada hora hasta cumplir el tiempo de análisis. Las representaciones gráficas de los resultados se muestran de las Figura 44 a la Figura 46.

El pseudotallo del banano (PT) fue la fibra que, de las tres (3), presentó el menor porcentaje de hinchamiento, con un valor de absorción promedio del 89% de su peso seco en agua (Figura 44). Por su parte, el vástago (VA) tendría la capacidad de absorber hasta un 137% de su peso seco en contacto con agua (Figura 45).

Los tejidos foliares (RF) representados en la Figura 46 resultaron ser la fibra con mayor potencial de absorción de agua, pues asciende rápidamente en los primeros minutos y llega a un valor máximo a las seis 6 horas de 401% en promedio de su peso seco. Lo que significa que las hojas del banano llegarían a aumentar su masa hasta cuatro veces su peso inicial en contacto con agua.

Resultados de la prueba de hinchamiento del pseudotallo del banano

Porcentaje promedio de hinchamiento del pseudotallo del banano

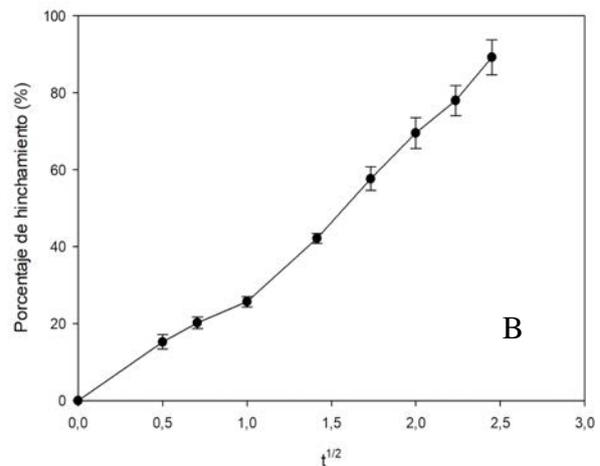
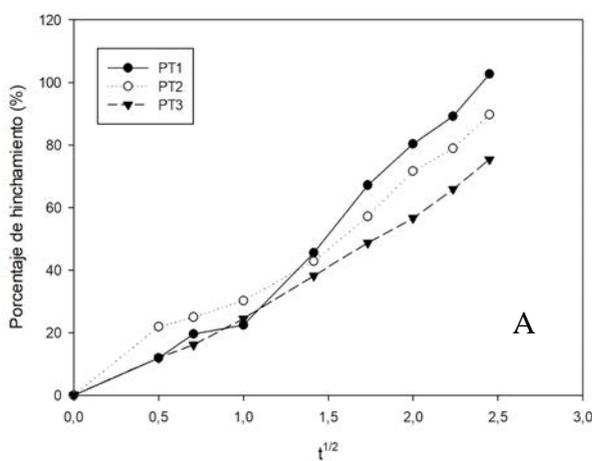


Figura 44. Pruebas de hinchamiento de PT

A. Resultados de los tres ensayos para PT. B. Porcentaje promedio de hinchamiento del pseudotallo del banano

Fuente: Autores



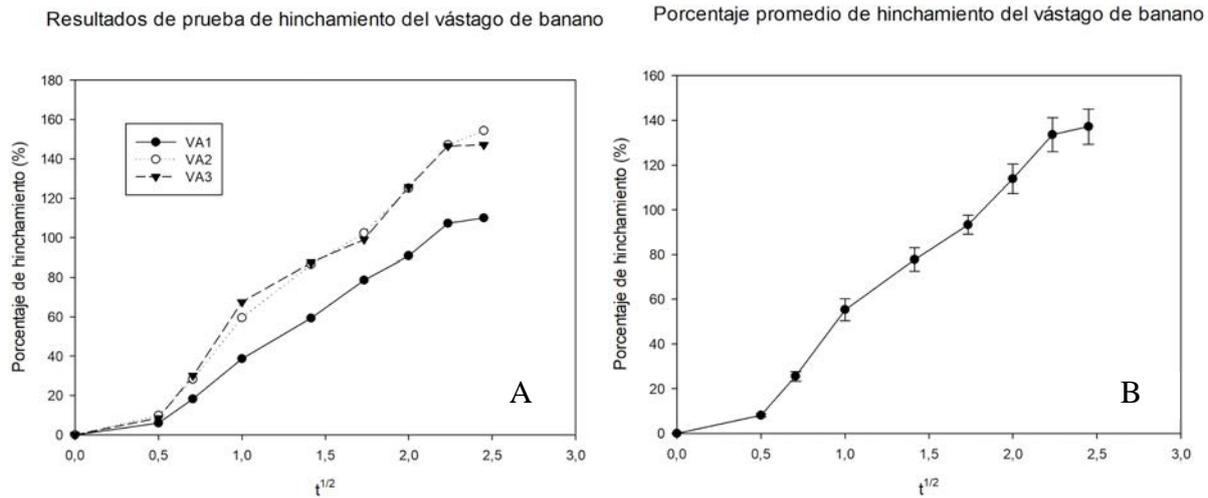


Figura 45. Pruebas de hinchamiento de VA

A. Resultados de los tres ensayos para VA. B. Porcentaje promedio de hinchamiento del vástago o raquis del banano Fuente: Autores

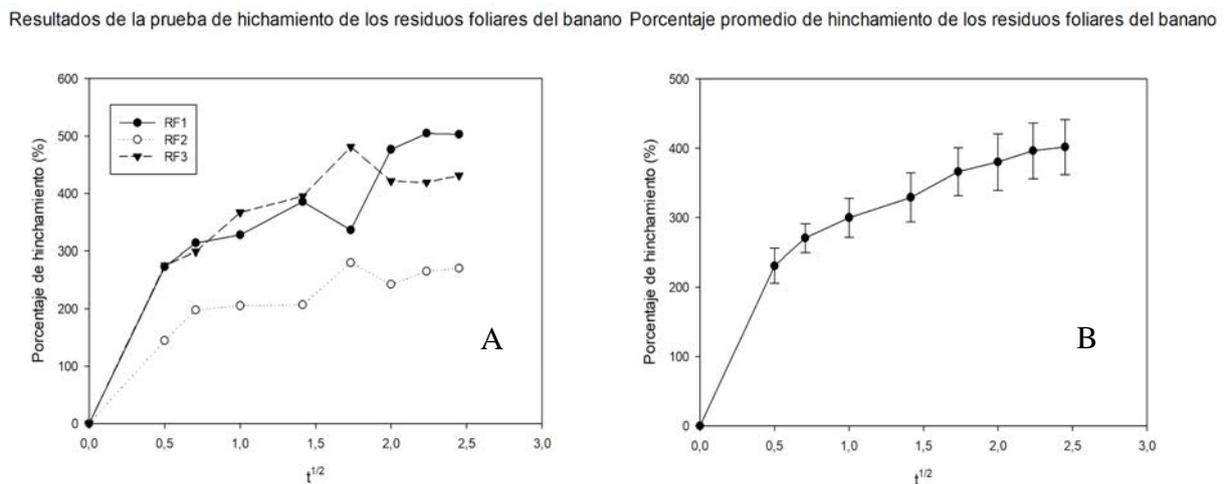


Figura 46. Pruebas de hinchamiento de RF

A) Resultados de los tres ensayos para RF B) Porcentaje promedio de hinchamiento para las hojas del banano Fuente: Autores

2.1.3. Contenido de carbono total

Se calculó el contenido de carbono fijo, evaluado a partir de la volatilización de los compuestos orgánicos totales (Anexo 19). El proceso inició con la calcinación de cada una de las muestras (VA, PT y RF) a 550°C para así reconocer el material volátil y el inorgánico (este último el que queda luego de la calcinación).

Tabla 11. Resultados para la prueba de contenido de carbono total

Fibra de banano	Carbono fijo (%)	Carbono volátil (%)
PT	19,77	80,23
VA	12,72	87,28
RF	11,48	88,52

Fuente: autores



En la Tabla 11 se puede constatar que no hay una variedad considerable en los porcentajes promedios de contenido de carbono fijo en todos los tejidos de la planta, ya que los valores oscilan entre 80%-90% de material orgánico.

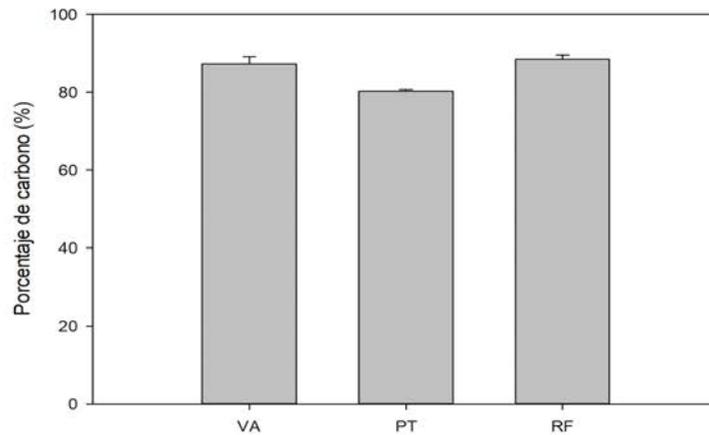


Figura 47. Contenido promedio de carbono en tejidos de banano
Fuente: Autores.

Los valores coinciden con las variaciones típicas de contenidos de celulosa, hemicelulosa y lignina en los tejidos de banano (Yamallel & Calderón, 2012); los contenidos más altos de carbono en este caso se presentan en RF, seguido por VA. Este último almacena la mayor cantidad de nutrientes, especialmente el potasio (K), debido a que regula el crecimiento del fruto (Rada, Ariza, Barrios, Tovar, & Lopez, 2005). Los resultados de contenido de carbono fueron similares a los obtenidos por Bau (2016) y Giraldo y Montoya (2016) con resultados de carbono fijo en vástago de 9,45% y en hojas de 14 - 16%.

2.1.4. Microscopia Electrónica de Barrido (MEB)

Las características particulares de cada fibra están ligadas a su estructura física a nivel microscópico, por ende, es importante conocer las estructuras vegetales en detalle de cada tejido estudiado. Para esto se analizaron las micrografías de las fibras del banano obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) en la Universidad de los Andes. El microscopio MEB cuenta con mayores resoluciones que los microscopios de luz, debido a que funciona a partir de un haz de electrones que rebotan en los tejidos brindando un acercamiento a la morfología y los cambios de composición en la muestra. Las imágenes a continuación muestran regiones particulares de cada tejido.

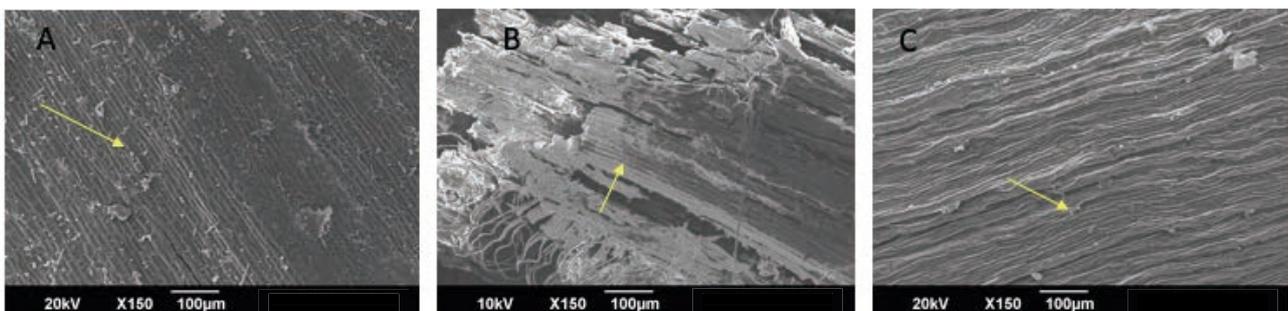


Figura 48. Micrografías de tejidos de banano de magnitud 150 a 20kV de intensidad con escala de 100 µm
A. Micrografía del pseudotallo de banano B. Micrografía de vástago o raquis de banano rallado C. Micrografía de un corte de hoja de banano.

Fuente: Autores



A pesar de las evidentes diferencias morfológicas de las fibras, en las tres (3) se presentan estructuras tubulares encargadas del transporte de nutrientes en la planta. Las paredes de los túbulos se constituyen principalmente de holocelulosa, un agregado de celulosa y hemicelulosa que se adhiere a las paredes de todos los tejidos externos por medio de la lignina, esta característica propia del banano le agrega resistencia física a los daños mecánicos y química a la descomposición (Canché, Andrade, & Gómez, 2005).

El pseudotallo específicamente está compuesto por dos (2) morfologías principales; la primera denominada randa que es una estructura rígida que forma celdas y canales alrededor de todo el tallo (Figura 49A); la segunda es más fina y se conoce como seda, está envuelve capa tras capa las randas (Figura 49B) (Reis, Rodrigues, Mussatto, Gonçalves, & Rocha, 2007).

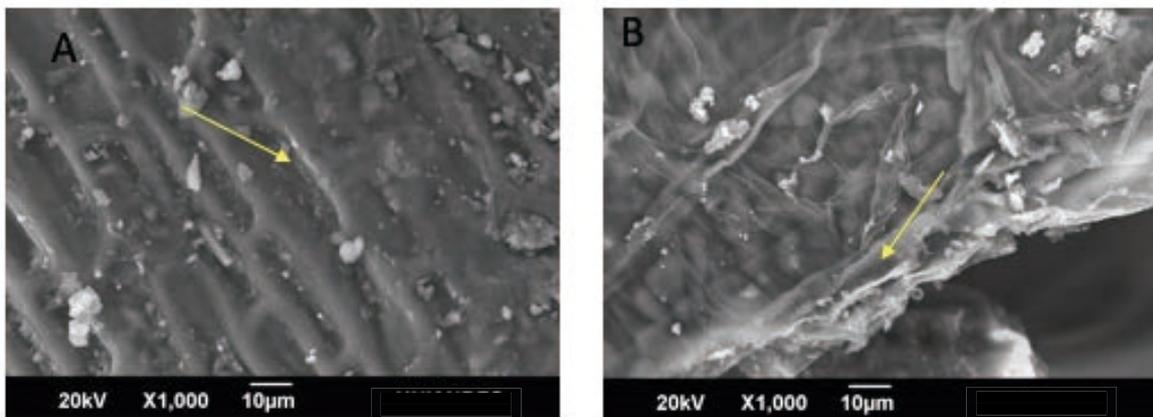


Figura 49. Micrografía del pseudotallo de banano de magnitud 1000 a 20 kV de intensidad con escala de 10 μm

A. Celdas de randas en pseudotallo. B. Seda cubriendo la capa superficial del tejido

Fuente: Autores

Cuando las sedas del tejido se rompen, se liberan las randas: esto hace que el tejido pierda resistencia mecánica y se quiebre fácilmente, característica apreciable en el pretratamiento: cuando se realiza el corte del tallo se liberan partículas pequeñas de polvo pertenecientes a las sedas secadas. Los gránulos en la micrografía, corresponden a los resultados obtenidos por Reis (2007) y pueden tratarse de células parenquimatosas.

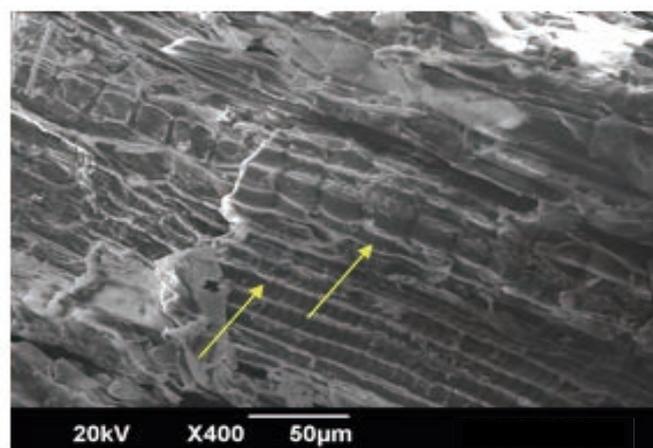


Figura 50. Micrografía del vástago de banano de magnitud 400 a 20 kV de intensidad con escala de 50 μm

Fuente: Autores



El vástago (Figura 50) se caracteriza por poseer una estructura similar a la del pseudotallo y considerarse el tejido estudiado con mayor porcentaje de celulosa. Estas fibras están interconectadas por microcanales de lignina y hemicelulosa de entre 5 - 6 μm entre sí (Bau, 2016) Esto le otorga rigidez al material y permite la acumulación de nutrientes.

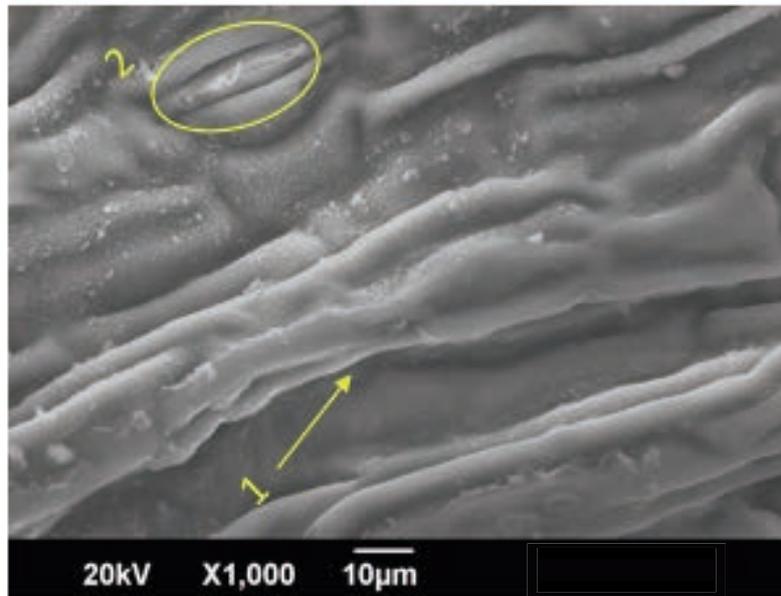


Figura 51. Micrografía de los residuos foliares de banano de magnitud 1.000 a 20 kV de intensidad con escala de 10 μm

1. Canales de transporte en las hojas. 2. Estoma

Fuente: Autores

La micrografía de los residuos foliares (Figura 51) evidencia la presencia de canales microestructurales (1) que transportan sustancias como azúcares, nutrientes y agua hacia toda la planta. Estas estructuras se caracterizan por estar recubiertas de una película gruesa que les otorga resistencia mecánica a las hojas, aun así, es mínima en comparación con la de otras fibras. En la parte superior de la micrografía (2) se aprecia una estoma de unas 20 μm de longitud. Las estomas se encargan del intercambio gaseoso en las hojas (Rueda, 2015).

2.1.5. Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR)

Se evaluó la presencia de sustancias químicas mediante la espectrofotometría infrarroja de transformada de Fourier (FT-IR). Los espectros resultantes están representados como la relación entre la longitud de onda en cm^{-1} que se encuentra en el eje X y la transmitancia en porcentaje en el eje Y. Las Figuras a continuación muestran las especies químicas predominantes de las muestras de PT, VA y RF. La longitud de onda entre 3.300cm^{-1} y 3.400cm^{-1} indica la presencia de grupos hidrófilos, en ese orden de ideas, es posible corroborar la afinidad hídrica de las fibras ya que presentaron actividad en dicho rango en porcentajes (%) de transmitancia similares.

Los espectros entre 1.060 cm^{-1} a 1.200 cm^{-1} se relacionan a vibraciones de grupos CO y C-O-C, indicando alta presencia de celulosa, en cuyo caso, VA muestra los mayores picos de actividad, así como en bandas entre 1.400 cm^{-1} y 1.320 cm^{-1} , de mayor actividad en PT.



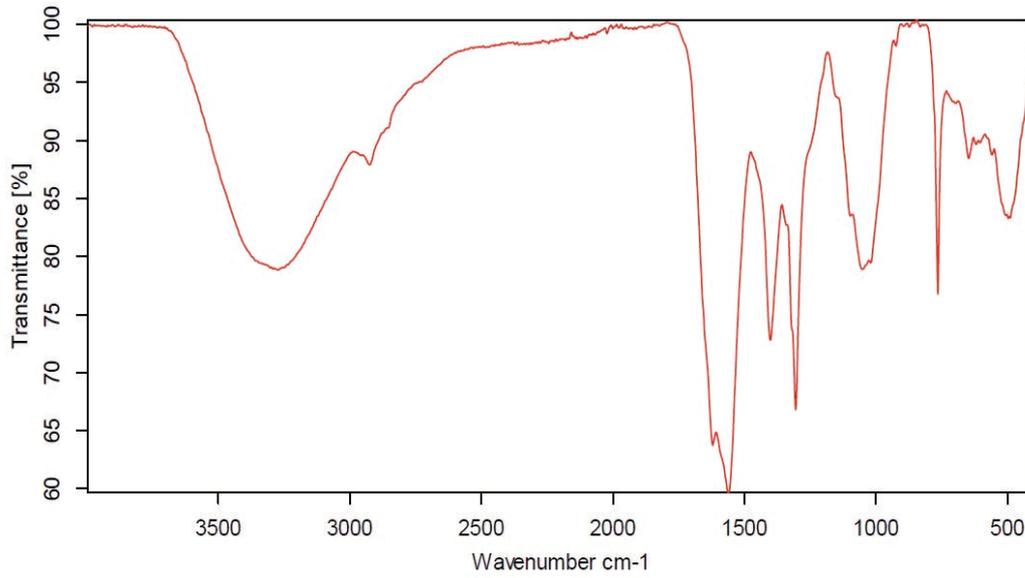


Figura 52. Espectro de FT-IR de la muestra de pseudotallo (PT)

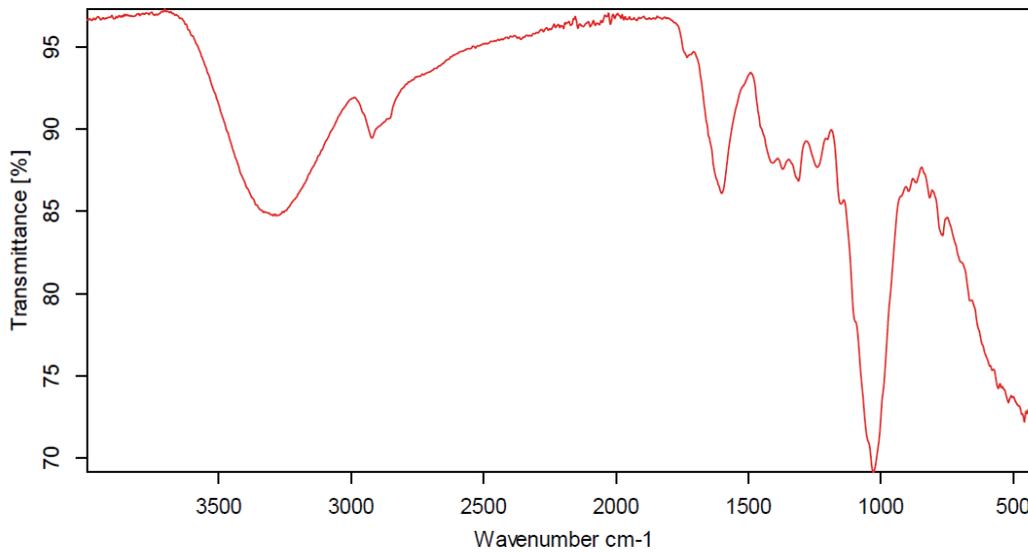


Figura 53. Espectro de FT-IR de la muestra de vástago (VA)

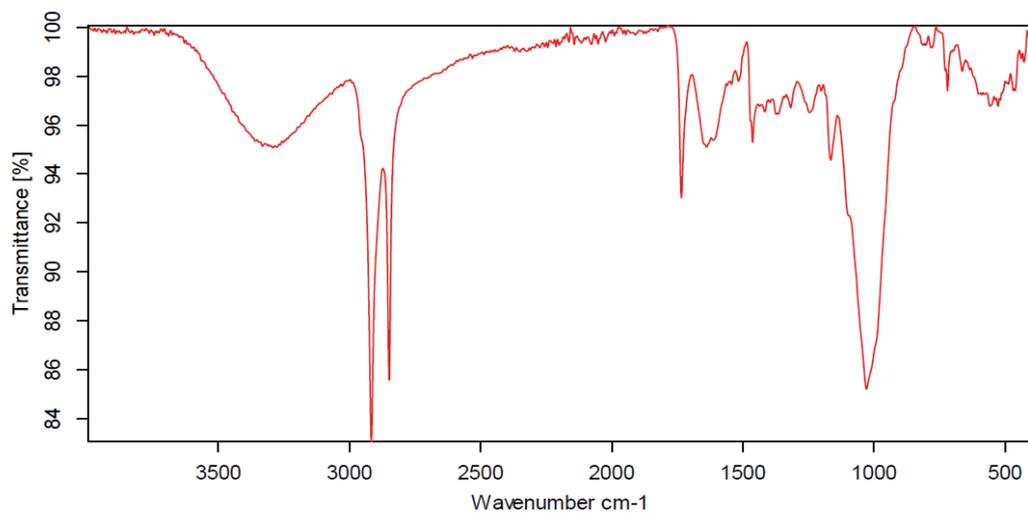


Figura 54. Espectro de FT-IR de la muestra de residuos foliares (RF)



En las muestras de PT (Figura 52), las bandas en 1.650 cm^{-1} demuestran un mayor porcentaje de transmitancia, hecho que se relaciona de forma directa con una mayor acumulación de agua (Saldarriaga, Zuluaga., López, & Gañán, 2007), resultado que concuerda con el contenido de agua superior en el pseudotallo (95,7%). Los rangos de longitud de onda 3.500 cm^{-1} y 3.180 cm^{-1} , evidencian la presencia de amidas y aminos. Estas últimas son compuestos químicos que se caracterizan por ser polares (solubles en agua), lo que corrobora el potencial de recepción hídrica en los resultados obtenidos de la prueba de hinchamiento. Así mismo, la presencia de amidas demuestra la posible existencia de proteínas, ya que estas son fundamentales para su formación.

La muestra de VA (Figura 53) presenta alcoholes R-OH (1.500 cm^{-1} a 1.300 cm^{-1}), ácidos carboxílicos R-C=O-OH (1.420 cm^{-1} a 1.200 cm^{-1}) y aminos R-N-H (1.360 cm^{-1} a 1.250 cm^{-1}), fundamentales debido a que permiten eliminar el hidrógeno del alcohol para así transformarlo en acetona (estructura que otorga el aroma); además participan en los procesos fisiológicos de las plantas como respiración, fotosíntesis y absorción de nutrientes por lo que influye de forma directa en el rendimiento y calidad del cultivo. Finalmente, las aminos ayudan a formar puentes de hidrógeno entre sí y con el agua. Las vibraciones en la banda 1730 cm^{-1} corresponden a componentes no celulósicos, como hemicelulosa o xilosa (Saldarriaga, Zuluaga., López, & Gañán, 2007).

Para RF (Figura 54) los espectros que se encuentran en el intervalo de 1.800 cm^{-1} a 1.100 cm^{-1} , indicando la presencia de lignina y hemicelulosa, mientras que los valores de onda que están entre 1.594 cm^{-1} a 1.510 cm^{-1} se relacionan con los anillos aromáticos de la lignina. Esta es de suma importancia para las hojas de la planta, ya que permite que este material sea hidrofílico, ayuda a la resistencia mecánica de las hojas, y aumenta el contenido de agua intersticial¹⁷ permitiéndole transportar agua y nutrientes (Saldarriaga, Zuluaga., López, & Gañán, 2007). La banda en 2.870 cm^{-1} , correspondiente a aldehídos que se encuentran asociados a una mayor presencia de compuestos aromáticos en las hojas.

2.2. Polietileno de Baja Densidad (PEBD)

Para caso del PEBD, las muestras fueron lavadas en su totalidad para retirar la suciedad. Luego se procedió a secarlas de forma manual para evitar deformaciones en secado mecánico y se trituraron para facilitar su manejo.



Figura 55. Proceso de secado y trituración de las muestras de PEBD

Fuente: Autores

¹⁷ En el espacio intercelular de las células vegetales (Rueda, 2015)



Este material se caracteriza por tener una densidad de $0,92 \text{ g/cm}^3$, lo que permite la elaboración de productos ligeros con una transición vítrea¹⁸ (T_g) de 105°C . Así mismo, es más flexible que el Polietileno de Alta Densidad (PEAD) y es un elemento con una alta resistencia térmica, química y al impacto (Achilias, Roupakiasa, Megalokonomos, Lappas, & Antonakou, 2007).

2.2.1. Porcentaje de hinchamiento

Inicialmente, se evaluó la capacidad de absorción de agua del PEBD, a partir de la inmersión de tres (3) probetas en agua destilada a 70°C y 150 rpm. En la Figura 56 se muestran los resultados del respectivo ensayo, el cual indica que el polímero (PEBD) incorpora de forma rápida agua durante la primera hora (1h) hasta llegar al nivel máximo de 1,3% de hinchamiento; a partir de ese valor, se aprecia un descenso de manera gradual.

Se caracteriza al polímero como un material hidrofóbico, retiene pequeñas cantidades de agua en las porosidades resultantes del proceso de fabricación. Dado los resultados obtenidos en la Figura 56, se podría decir que el potencial de absorción de este material ayudaría a reducir la permeabilidad de la fibra vegetal (PT, VA y RF).

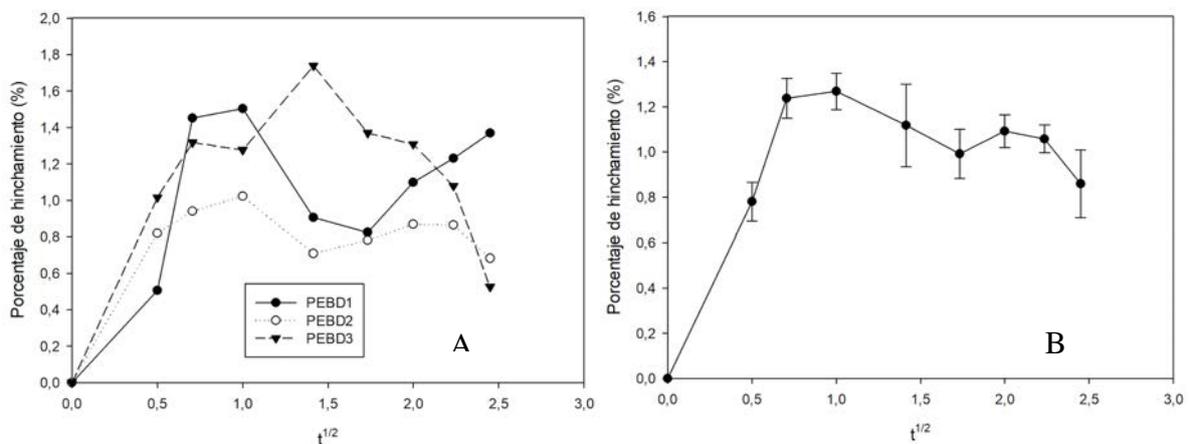


Figura 56. Proceso de hinchamiento del PEBD

A. Resultados de los tres ensayos para PEBD. B. Porcentaje promedio de hinchamiento de PEBD

Fuente: Autores

La permeabilidad o capacidad de absorción de agua del PEBD en las primeras 24 horas de acuerdo a sus propiedades físicas es menor al 0,01% (Torres, 2014), lo cual corrobora los resultados obtenidos anteriormente debido a que este es un material que es casi impermeable y de acuerdo a la prueba de hinchamiento que se realizaron en seis horas (6h), sus resultados indicaron que la capacidad de absorción es mínima.

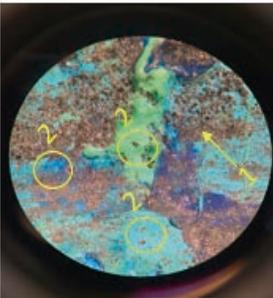
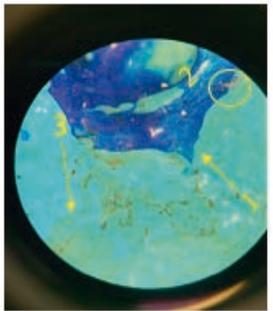
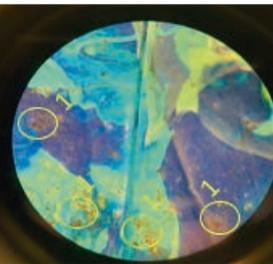
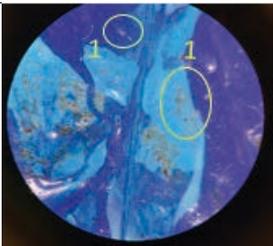
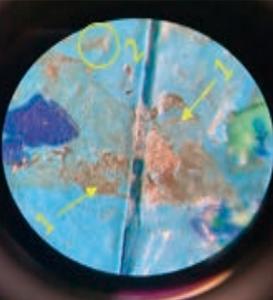
2.2.2. Prueba de corrosión salina

La corrosión en plásticos presenta mecanismos de acción diferentes que, en los metales, en los que se produce una respuesta electroquímica de disolución. En el caso de los polímeros la corrosión se observa debido al ablandamiento del polímero, fracturación y deformación, se acelera de acuerdo a la temperatura y la concentración del agente corrosivo (Vera & Cañas., 2005). Por esto, no se buscan en las probetas señales de desintegración o cambio de coloración, sino deformaciones de la pieza y fracturas pequeñas.

¹⁸ Transición vítrea es, por tanto, el paso de un vidrio, sólido rígido con desorden interno, a un sólido deformable (Laza, 2014) (Laza, 2014).



Tabla 12. Corrosividad del Polietileno de Baja Densidad (PEBD)

<i>Semanas</i>	<i>Descripción gráfica</i>	<i>Análisis</i>
0		Inicialmente la pieza presenta una capa delgada de grafito (1) porque fue el elemento que se usó como desmoldante de cada material. Así mismo la variedad de colores se debe a los distintos tipos de Polietileno de Baja Densidad (2).
1		En la observación de la primera semana ya se presenciaban cambios en la coloración de la estructura. En las hendiduras, se aprecia un color cobre claro (2 y 3), correspondiente a la oxidación del grafito. Sin embargo, no se evidenciaron cambios estructurales. Cabe resaltar que esta imagen fue tomada de otra sección del mismo material para así identificar la modificación de la estructura.
2		A la segunda semana, se aprecian un incremento del color cobre (1), en mayor proporción en las hendiduras. La imagen muestra una de las fisuras que se realizaron para el seguimiento de la corrosión. No muestras cambios significativos a nivel estructural.
3		En la semana tres, se observa una reducción considerable en la cantidad de grafito adherido al material en comparación de las semanas anteriores (1). En la zona de ranura, se aprecian pequeñas concentraciones de sal.
4		Luego de tener las muestras cuatro semanas sumergidas en agua de mar, se comenzaron a presentar películas membranosas en las ranuras del polímero (1). Así mismo, se observa mayor presencia de secciones con la coloración cobrizas (2), no se evidencia decoloración del material.

Fuente: Autores

El documento denominado “la degradación de los plásticos” por Beatriz Bustamante (1994) menciona que los polímeros al encontrarse en una zona con un porcentaje de humedad considerable, pueden presentar algún tipo de afectación o degradación ya sea desde el punto de vista físico, químico o mecánico, porque en la mayoría de las ocasiones los agentes corrosivos no suelen actuar de forma individual.



El procedimiento que se realizó para este proyecto investigativo corrobora que el PEBD al someterlo a agua de mar en cuatro (4) semanas, no presenta ningún tipo de daño considerable en los componentes mecánicos. Corroborando así, que este material tiene la capacidad de soportar durante cuatro (4) semanas cantidades considerables de sal, por lo cual, podría ser incorporado en un modelo constructivo en la CGSM.

2.2.3. Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

Por medio de la micrografía del PEBD (Figura 57), se reconoce al polímero como un material rugoso con estrías propias del polietileno y derivadas del proceso de fundición. La configuración por capas revela la colocación de estas una sobre la otra al momento de su elaboración. Así mismo, se logran identificar orificios que demuestran la presencia de burbujas de aire debido a la poca presión en el desarrollo del molde.

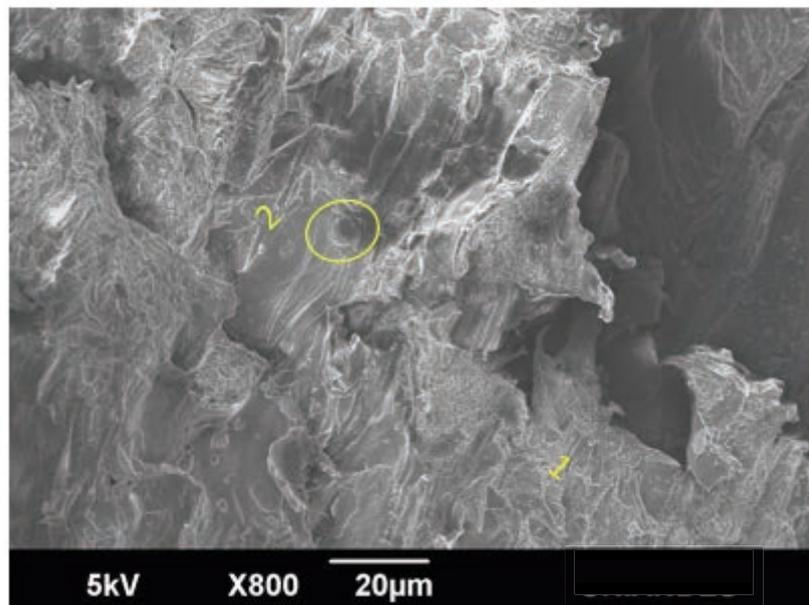


Figura 57. Micrografía del PEBD en zona de corte, con intensidad de 5kV, magnitud de x800 y escala de 20 μm

1. Estrías 2. Burbujas de aire
Fuente: Autores

Cabe resaltar, sin embargo, que el área presentada en la micrografía pertenece a una zona de corte, es decir que da indicios de cómo se comporta el polímero en áreas de esfuerzo: las zonas más regulares pueden representar burbujas de aire internas, es probable que desde esos espacios el tejido se quiebre. Adicionalmente, el resto de la pieza presentó una estructura homogénea con pocas estrías y casi completamente lisa. Esto indica un buen manejo de la temperatura de fundición y de la presión ejercida en la elaboración del mismo, aun siendo mediante métodos manuales.

2.2.4. Espectroscopia Infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR)

En el caso de la Figura 58, se evidencia la diseminada presencia de metilenos (CH_2) en la banda 730 cm^{-1} , debido a la polimerización del metano en la fabricación del PEBD. Sin embargo, se resalta la presencia de una banda pequeña en la onda 1.377 cm^{-1} , que representa la transformación del enlace CH_3 , ausente en otros polímeros. Las bandas de actividad entre 2.915 cm^{-1} y 2.845 cm^{-1} indican cadenas ramificadas largas correspondientes al polietileno, cuando más largas las ramificaciones, menos denso tiende a ser el polímero. De modo que el material presenta menores densidades ($0,9 \text{ g/ml}$) que otros polímeros comparables como el PEAD y corresponde a los resultados obtenidos por Jung en comparación con polímeros más densos (Jung, y otros, 2018).



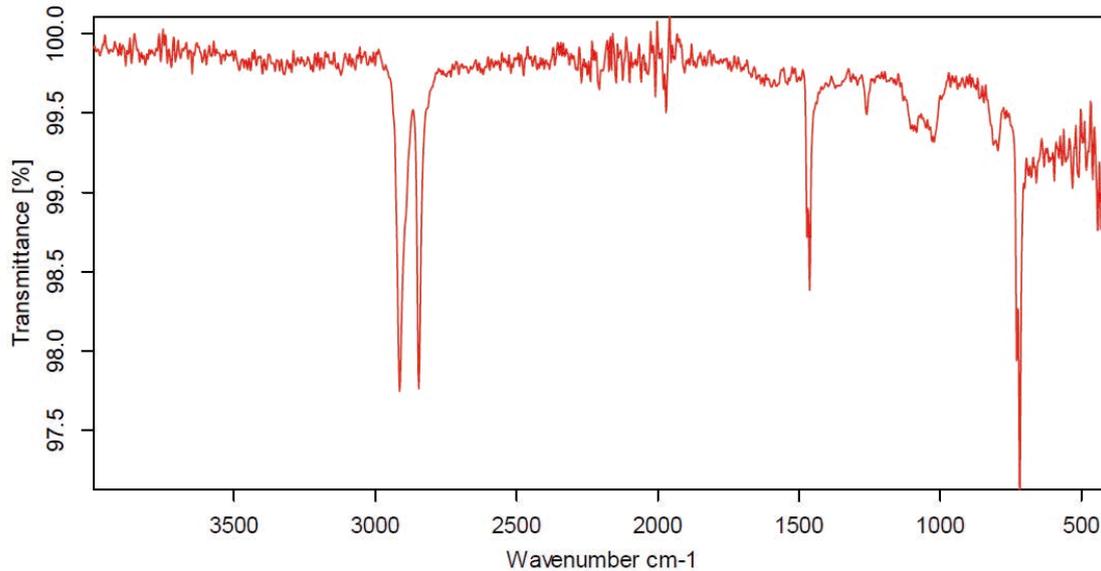


Figura 58. Espectro de FT-IR del polímero PEBD

3. Elaboración del biocomposito

En esta sección se explicará el diseño experimental que se utilizó para el desarrollo de los distintos biocompositos (PEBD y la fibra vegetal).

3.1. Diseño experimental para la elaboración de los biocompositos

Una vez caracterizadas las fases del biomaterial, se establece el diseño experimental para su elaboración, por medio de tres moldes con medidas conocidas para otorgarle al biocomposito una estructura física. El modelo fue hecho a partir de aluminio con dimensiones estándares (Anexo 8, Anexo 9 y Anexo 10). A continuación, se explican las diferentes etapas necesarias para la elaboración de los biocompositos del polímero y las fibras de banano.

a. Preparación del molde

Antes de colocar las muestras de PEBD y la fibra natural en el molde de aluminio, este debe ser limpiado totalmente para asegurar una superficie plana y que los biocompositos a realizar no se deformen por este motivo. Luego, se adiciona una capa delgada de silicona desmoldante o grafito industrial en el molde para que el proceso de desmolde del material sea fácil y rápido. Lo anterior tarda un tiempo estimado de cuatro minutos. Cada muestra es pesada en las básculas de la Universidad el Bosque para corroborar el porcentaje (%) requerido en los Biocompositos.

b. Fusión del PEBD y la fibra natural

Una vez preparado el molde, se introduce en la mufla de calentamiento a 200°C alrededor de 30 minutos hasta que alcance la temperatura deseada. Con ayuda de guantes de seguridad se inicia con la adición del Polietileno de Baja Densidad y las fibras naturales mediante capas intercaladas de cada uno en las cavidades del molde con ayuda de una microespátula. Cabe resaltar que el PEBD modifica su estructura fácilmente y tiende a encogerse, por esto su adición se realizó de manera gradual y en pequeñas cantidades hasta completar la masa esperada.

c. Desmolde

Una vez se fusionan los materiales y se llega a la capacidad del molde, se deja enfriar y se coloca en una placa de calentamiento a 100°C durante dos minutos para su desmolde con ayuda de una microespátula. Se planteó además agregarle silicona desmoldante para impedir que se deforme la probeta con la presión ejercida en el proceso.



d. Verificación

Luego de obtener el biocomposito final, se procede a verificar visualmente si el desmolde género alguna imperfección en la estructura del material. Si es así, se introduce la muestra de nuevo en el molde y luego en la mufla a 200°C durante diez (10) minutos para remover el defecto; caso contrario, se pesa el biocomposito para determinar el porcentaje definitivo.

Cabe resaltar que para el desarrollo de este procedimiento se realizaron cada una de las variaciones por triplicado para su posterior evaluación.

3.2. Biocompositos finales

Para el desarrollo de este proyecto investigativo, se elaboraron aproximadamente treinta (30) biocompositos en los porcentajes (80%-20% y 60%-40%) mencionadas anteriormente. Para cada uno de estos, se hizo un triplicado (3) de los moldes laminares, con el fin de realizar una comparación entre ellos. De la misma forma, se hicieron quince moldes correspondientes a PEBD, PEBD+VA 80/20 y PEBD+RF80/20.

Tabla 13. Codificación de los biocompositos

Porcentaje de PEBD (%)	Fibra de banano	Porcentaje de fibra (%)	Codificación
80	Pseudotallo (PT)	20	PEBD+PT 80/20
60	PT	40	PEBD+PT 60/40
80	Vástago (VA)	20	PEBD+VA 80/20
60	VA	40	PEBD+VA 80/20
80	Hojas (RF)	20	PEBD+RF 80/20
60	RF	40	PEBD+RF 80/20

Fuente: Autores





Figura 59. Piezas finales de los biocompositos de PEBD y fibras vegetales con su respectivo porcentaje.

1. moldes laminares 2. moldes de tensión 3. moldes de compresión

Fuente: Autores.

4. Caracterización de los biocompositos

Se evaluaron de forma individual las seis (6) combinaciones de materiales mencionadas en la Tabla 13; con el fin de reconocer las principales características de su estructura y analizar la viabilidad de la resistencia física de las diferentes combinaciones entre el PEBD y las fibras naturales.

4.1. Porcentaje de hinchamiento

Para este procedimiento, se realizó un triplicado de los moldes laminares (Anexo 8) de cada combinación planteada (80%-20% y 60%-40%). El porcentaje promedio de hinchamiento en los tres ensayos de cada biocomposito se presenta en las siguientes figuras.



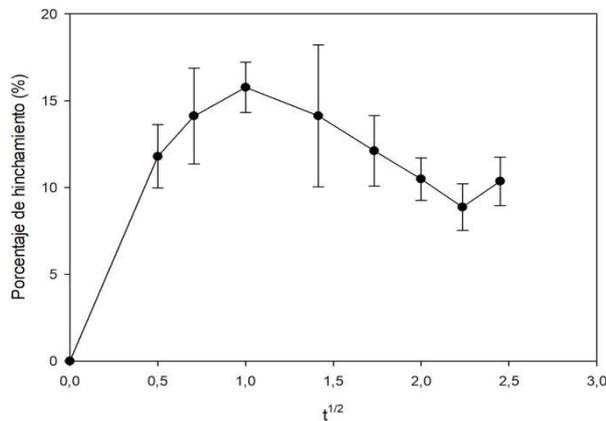


Figura 60. Porcentaje promedio de hinchamiento de PEBD+PT 60/40
Fuente: Autores

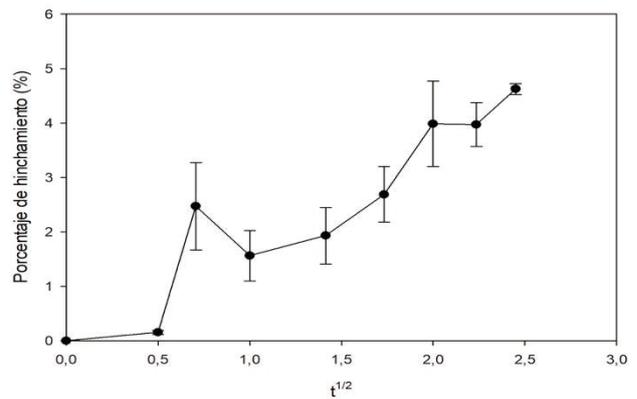


Figura 61. Porcentaje promedio de hinchamiento de PEBD+PT 80/20
Fuente: Autores

El biocomposito PEBD+PT 60/40 absorbe rápidamente agua hasta aumentar en un 15,8% su peso seco en la primera hora (1h) (Figura 60). A partir de ese momento comienza a disminuir su captación gradualmente; este comportamiento se asemeja al presentado por el polímero en la Figura 56; sin embargo, su capacidad de retención de agua aumenta hasta 13 veces debido a su refuerzo con la fibra natural de PT. Para la proporción 80/20 del mismo material (PEBD+PT 80/20), se obtuvo una absorción de agua máxima luego de las seis (6) horas de 4,6% de su masa seca (Figura 61). Las propiedades hidrofílicas del PT se ven fuertemente reducidas conforme aumenta el porcentaje de PEBD, los datos son variables y la tendencia es a cambiar su masa rápidamente sin sobrepasar el porcentaje máximo de absorción.

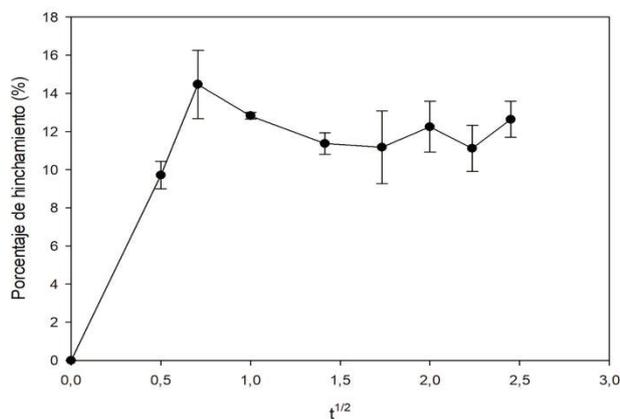


Figura 62. Porcentaje promedio de hinchamiento de PEBD+VA 60/40
Fuente: Autores

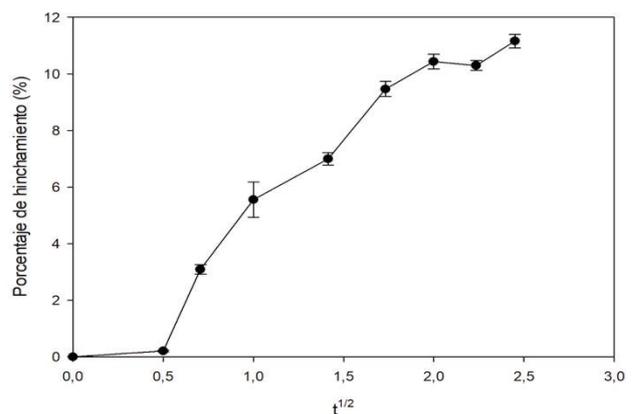


Figura 63. Porcentaje promedio de hinchamiento de PEBD+VA 80/20
Fuente: Autores

El potencial de captación de agua para la combinación PEBD+VA 60/40 se muestra en la Figura 62. En este caso el material retiene hasta un máximo de 14,5% de su peso seco en agua y se estabiliza entre este valor y un 10% de captación. Es posible afirmar que el polímero refuerza el carácter hidrofóbico del compuesto y ello disminuye la alta capacidad de los tejidos para almacenar agua ya que el VA paso de absorber 137% (Figura 45) de su peso seco en agua a solamente 14,5%. Presentando así una diferencia notoria al momento de realizar la combinación de estos dos materiales.



Así mismo, para el biocomposito PEBD+VA80/20, representado en la Figura 63, fue de 11,1%. Al igual que la combinación PEBD+PT (Figura 61), disminuye en comparación a un contenido porcentual mayor en fibra vegetal. La tendencia al aumento gradual de absorción de agua toma las propiedades de la fibra, muy similar al comportamiento de captación del vástago y se reduce debido a las propiedades del PEBD.

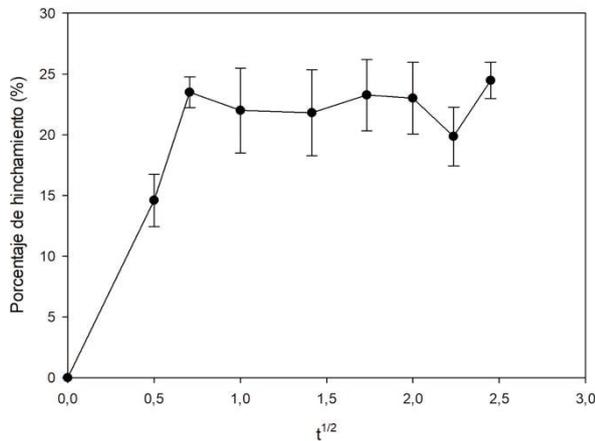


Figura 64. Porcentaje promedio de hinchamiento de PEBD+VA 80/20
Fuente: Autores

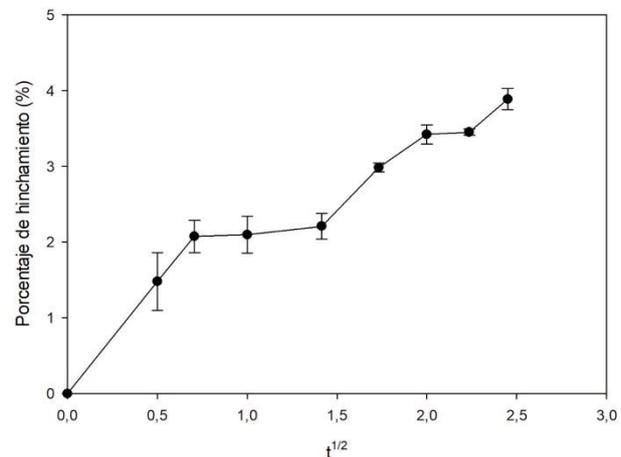


Figura 65. Porcentaje promedio de hinchamiento de PEBD+VA 80/20
Fuente: Autores

El biocomposito a base de hojas y PEBD (PEBD+RF 60/40) presentó la mayor capacidad de absorción de agua en sus tejidos, alcanzando un porcentaje de hinchamiento máximo de 24% (Figura 64). Lo anterior se relaciona directamente con la capacidad de las hojas para absorber hasta un 400% de su peso seco en agua, un valor alto comparado con los otros dos tejidos.

El biocomposito PEBD+RF 80/20 resultó ser el material con menor capacidad de absorción de agua con un valor máximo de 3.9% a las seis (6) horas. En ese orden de ideas, fue también la fibra cuyo refuerzo de PEBD afectó de forma considerable su condición hidrofílica. Debido a que los RF llegan a incorporar agua en un 401%. Esto puede deberse a la configuración de las laminillas de hoja en la probeta, pues al elaborar los biocompositos como una intercalación de capas de materiales, las hojas se distribuyen mejor debido a su morfología. Ello resulta en una menor cantidad de poros en el material, y se disminuye, así, la captación de agua del mismo.

Todas las combinaciones presentaron una disminución de su capacidad de absorción de agua a medida que se aumentó el porcentaje de PEBD presente en los materiales, es válido afirmar entonces que, a un mayor contenido porcentual del polímero, el biocomposito reforzará sus características hidrofóbicas. De manera análoga, al aumentar el porcentaje de fibra, también aumentará gradualmente el potencial de absorción de agua, con curvas de tendencias similares a la absorción de los tejidos vegetales.

4.2. Microscopía Electrónica de Barrido (MEB)

La microscopía, para el caso de los biocompositos, se realizó con el fin de verificar el estado interfacial de los materiales combinados, es decir, corroborar si, físicamente, los materiales tendían a unirse cuando eran mezclados, o si por el contrario su incorporación no generaba una interface suficientemente fuerte para permanecer juntos.

En primer lugar, se presentan las micrografías para las dos combinaciones de PEBD y PT (60/40 y 80/20 respectivamente). En la Figura 66 se presenta la proporción 60/40, en la que se aprecia la reducida superficie de polímero que cubre la fibra, debido a la presencia de filamentos pronunciados



generando hendiduras en el biocomposito. A pesar del reducido porcentaje de PEBD y la inadecuada distribución que presenta la fibra, la interfase entre los dos materiales tiende a ser fuerte; no se percibe una separación entre ambas fases; las fibras de pseudotallo se adhieren exitosamente al polímero y las estructuras vegetales se mantienen en cuanto a forma y dirección.

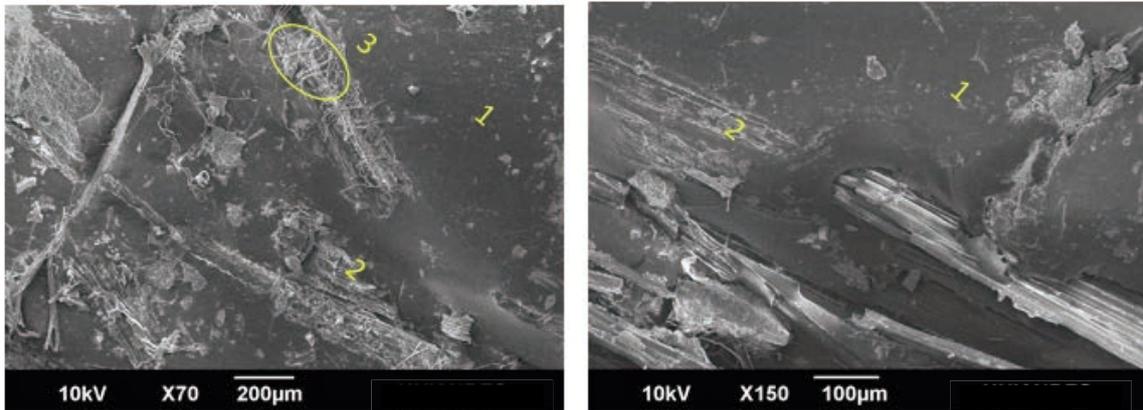


Figura 66. Micrografía del PEBD al 60% con PT al 40%, con intensidad de 10kV, magnitud de x80 y escala de 200 µm
1.PEBD 2. PT 3. Filamentos
Fuente: Autores

La Figura 67 muestra un acercamiento a una de las zonas de ruptura para el biocomposito PEBD+PT 80/20, aumentando el porcentaje de polímero en comparación con el anterior. En este compuesto se aprecian grietas resultantes del esfuerzo producido en la probeta, en dirección perpendicular a la distribución del PT.

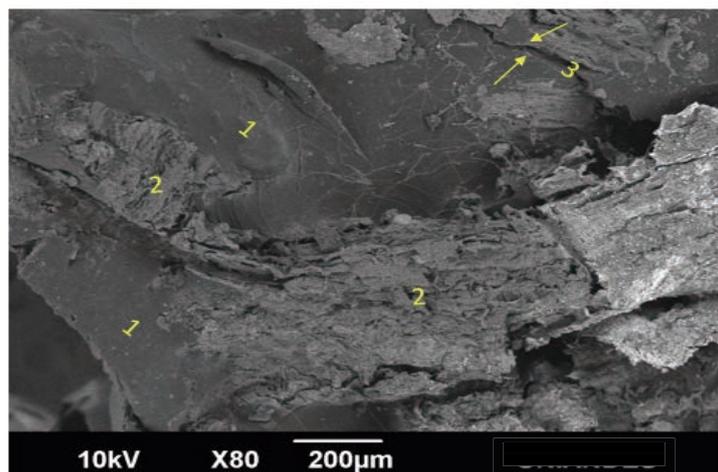


Figura 67. Micrografía del PEBD al 80% con PT al 20%, con intensidad de 10kV, magnitud de x80 y escala de 200 µm
1. PEBD 2. PT 3. hendiduras
Fuente: Autores

Se perciben algunas hendiduras entre las dos estructuras en secciones de la figura; de esta forma, se genera la posibilidad de que el biocomposito se fracture con mayor facilidad. Así mismo, se reconoce una superficie rugosa y otra lisa; donde la primera es la fibra natural y la segunda el PEBD, presentando, de nuevo, una interfase fuerte entre los dos materiales.



Los biocompositos a base de la fibra vegetal VA presentaron una buena adherencia entre las dos fases (vegetal y polimérica), evidenciado en la Figura 68 y Figura 69 que reflejan los resultados obtenidos de las combinaciones PEBD+VA 60/40 y 80/20 respectivamente.

Para la combinación porcentual 60/40 se evidencia una predominancia de VA en la estructura del biocomposito, con dificultades para percibir la matriz polimérica, se aprecia la estructura vegetal de unos 30 μm . (Figura 68A), conectado a la matriz polimérica de forma casi homogénea, las estructuras tubulares de VA no se modifican en la elaboración y forma interfases fuertes.

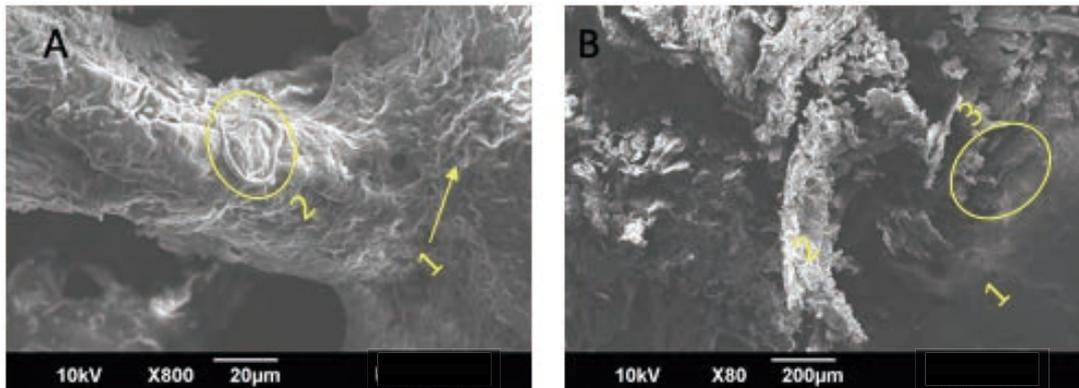


Figura 68. Micrografía del PEBD+VA 60/40

A) Magnitud de x800 y escala de 20 μm . 1. Unión PEBD+VA de forma homogénea 2. Estructura vegetal.

B) Magnitud de x80 y escala de 200 μm . 1. Presencia del PEBD 2. Muestra de VA 3. Adhesión de los materiales

Fuente: Autores

Esto puede deberse al pretratamiento de la fibra, en la Figura 68B, se aprecia la porosidad de la fibra con aumento de x80. Cuando se cizallan las fibras de banano, se rompen las macroestructuras tubulares formadas a base de holocelulosa y lignina. Esto aumenta los espacios interfaciales de la fibra y, por ende, su área de contacto con el polímero; lo que genera una mejor distribución de los materiales en el biocomposito y una interfase más fuerte, que se aprecia más claramente en las composiciones 80/20 de la Figura 69.

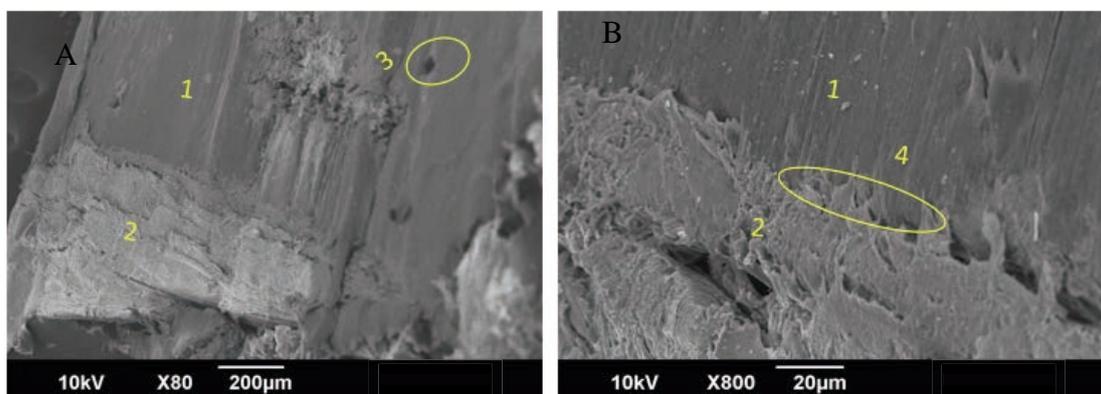


Figura 69. Microscopia del PEBD+VA 80/20

A) magnitud de x80 y escala de 200 μm . 1. PEBD 2. VA 3. Burbujas de aire

B) Magnitud de x800 y escala 20 μm 4. Interposición

Fuente: Autores

Se identifica una adhesión de los materiales sin grandes hendiduras y con una transición homogénea entre las dos fases. La dirección de la fibra es perpendicular a la del vástago y permite que en las



zonas de fractura (Figura 68 B), no se perciban grandes hendiduras. El polímero se mantiene casi intacto al esfuerzo mientras que la fibra recubierta por este, recibe la fuerza sin romper la interfase. Se presentan también pequeñas estructuras semicirculares, que indican la presencia de aire debido a la falta de homogeneidad en la presión ejercida en la elaboración.

Finalmente, los biocompositos PEBD+RF, presentaron las mejores interfaces de los tres tejidos, en la Figura 70 se observa la combinación porcentual 60/40, las dos fases se acoplan fuertemente sin presentar espacios entre ellas. La presión en la elaboración es adecuada para asegurar una unión entre ambas fases y a su vez, mantener los tejidos de las hojas.

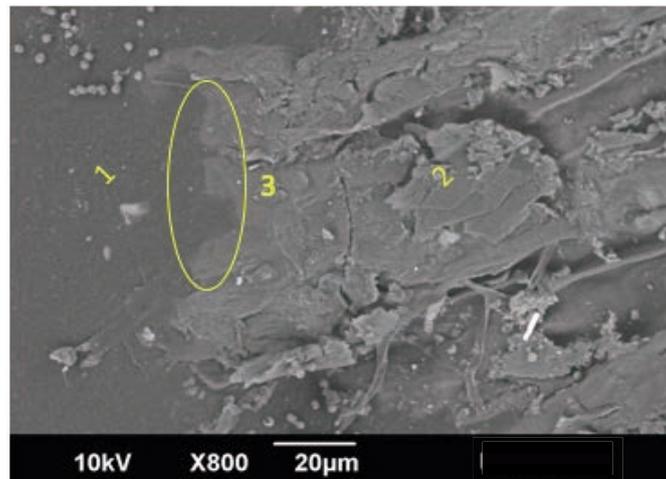


Figura 70. Microscopia del PEBD+RF 60/40 con intensidad de 10kV, magnitud de 800x y escala de 20 µm
1. PEBD 2. RF 3. Adhesión de los materiales

Fuente: Autores

En la figura 77a y b se muestra una zona de fractura para la combinación PEBD+RF 80/20. Donde es posible apreciar el comportamiento del biocomposito al esfuerzo, en la figura 77a se presenta el corte del biocomposito en el área transversal de las laminillas de hojas, con un grosor aproximado de 300 micrómetros. Por una parte, la interfase es fuerte debido a la baja presencia de hendiduras entre ambos componentes debido a que los canales de las fibras de las hojas son recubiertas casi completamente por el polietileno. Por otra parte, la configuración por capas del biocomposito permite generar una presión más homogénea en la probeta y una fusión más homogénea que en las otras fibras vegetales.

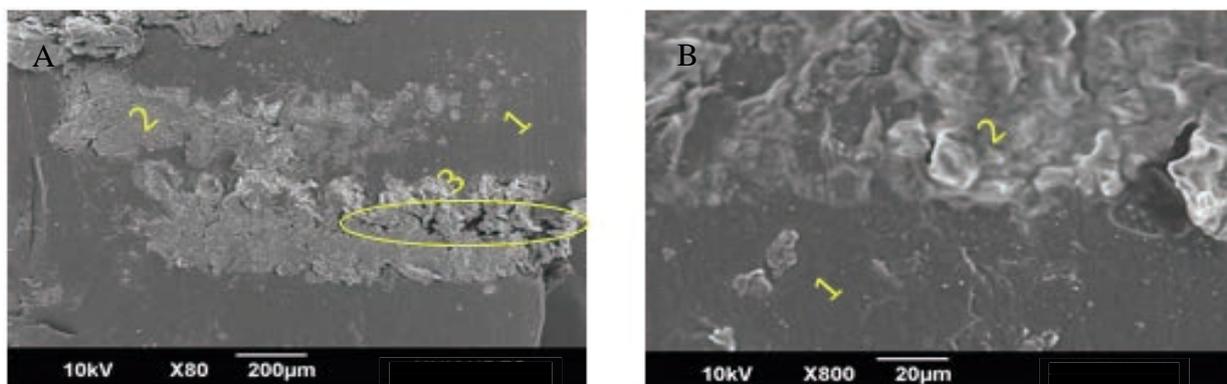


Figura 71. Microscopia del PEBD+RF 80/20

A) Magnitud de x80 y escala de 200 µm. 1. PEBD 2. RF 3. zona de fractura

B) Magnitud de x800 y escala de 20 µm 1. PEBD 2. RF

Fuente: Autores

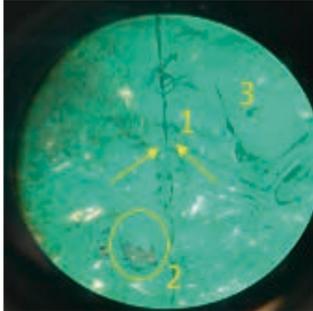
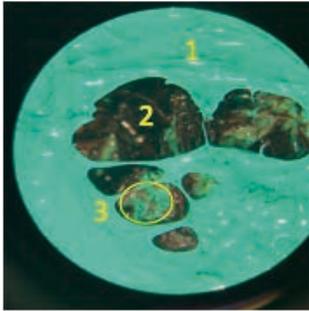
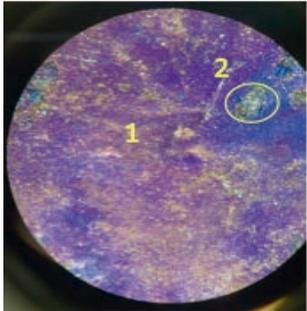


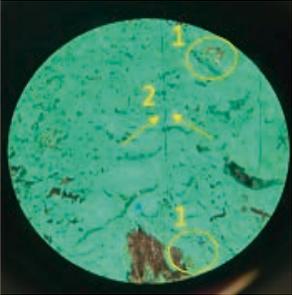
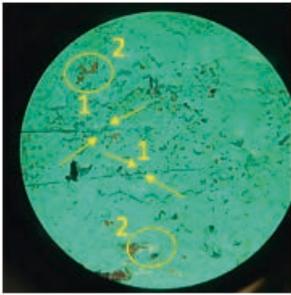
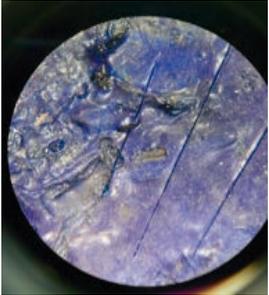
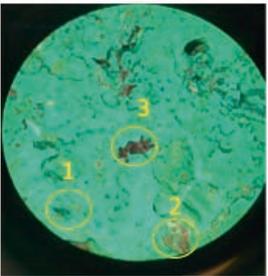
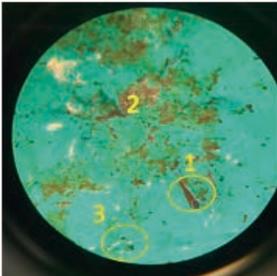
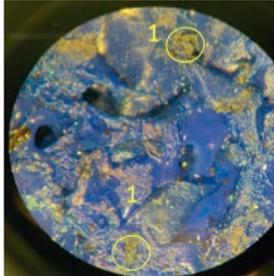
4.3. Prueba de corrosión salina

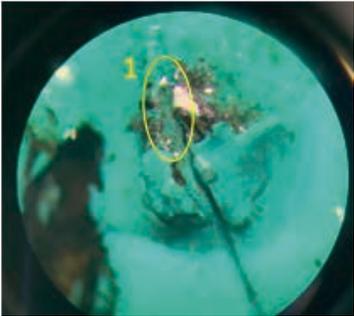
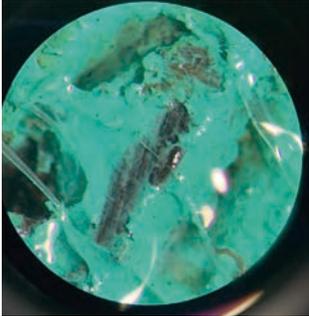
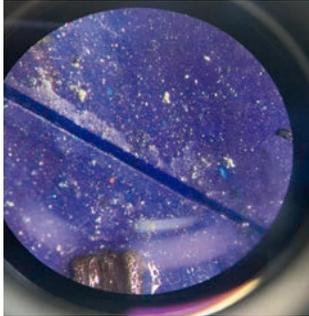
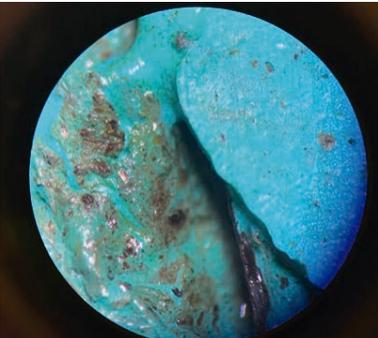
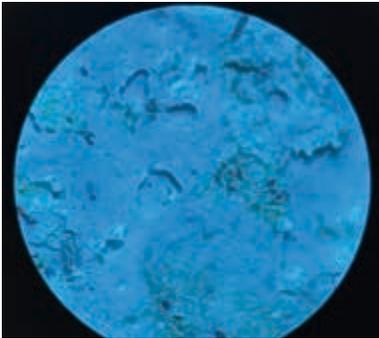
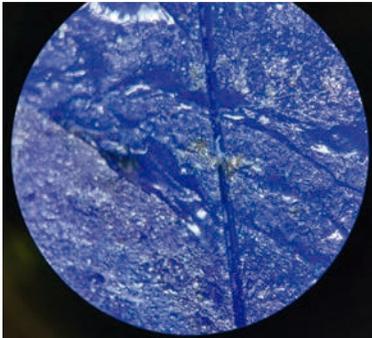
Este procedimiento se realizó con la adición de 35 g de Cloruro de Sodio (NaCl) en una solución de agua destilada para conseguir la concentración típica de NaCl en agua de mar (35 g/L).

Para esta prueba solo se tomaron en cuenta los tres biocompositos correspondientes a las composiciones 80/20. Se descartaron las proporciones 60/40 debido a su inadecuada compactación y a las irregularidades presentadas en sus microestructuras evaluada mediante microscopía MEB en el anterior apartado (4.1).

Tabla 14. Corrosión salina para los biocompositos

<i>Semana</i>	<i>PEBD+PT 80/20</i>	<i>PEBD+PT 80/20</i>	<i>PEBD+PT 80/20</i>
0	 <p>La muestra inicialmente, presenta un corte vertical (1) para apreciar las posibles modificaciones que el agua de mar produciría sobre el molde. Así mismo, se percibe que el material vegetal (PT) esta recubierto de PEBD por la proporción que se maneja en este caso (2).</p>	 <p>Se observan los dos materiales de una forma puntual. PEBD presenta una rugosidad notoria y una coloración verde (1). Mientras que el VA (2) es aquel que sobresale del biocomposito con una adecuada homogenización entre el PEBD+VA (3).</p>	 <p>La muestra presenta una capa delgada de grafito (1). Así mismo, se logran apreciar pequeñas partes de residuos foliares (RF) que se encuentran recubiertas por una capa delgada de PEBD (2).</p>

<p>1</p>	 <p>En la primera semana, la muestra comienza a presentar un cambio en su coloración (1); indicando el inicio de la corrosión del grafito como material desmoldante. A pesar de esto la muestra no percibe ningún tipo de fractura. La zona donde se encuentra el corte vertical no tiene ninguna modificación física</p>	 <p>PEBD+VA no presenta una modificación considerable en los cortes verticales (1). Así mismo, presenta un cambio en la coloración de las secciones donde el material vegetal sobresale (2), así como en las ondulaciones del biocomposito, a pesar de esto no se observa ninguna fractura en el material.</p>	 <p>En la primera semana, la muestra no presenta ningún tipo de corrosión ni modificación en su coloración. A comparación de la semana 0, está presenta menor cantidad de grafito. Por otro lado, los cortes verticales no tienen ningún cambio considerable.</p>
<p>2</p>	 <p>Se perciben con mayor proporción las zonas cobrizas, especialmente en la zona de PT (2). Indicando así la acumulación de grandes cantidades de grafito en los desniveles de la probeta, aun así, no se percibe ningún cambio considerable en el biocomposito.</p>	 <p>En la segunda semana, se percibe un cambio en la coloración (1-2). Así mismo, en el corte vertical se identifica corrosión por el cambio en la coloración al pasar de verde a cobre (3).</p>	 <p>Se reconoce la presencia de un cambio en la coloración de la muestra debido a la corrosión del grafito que se usó como desmoldante para el biocomposito (1). No se evidencia modificaciones considerables en su composición estructural.</p>

<p>3</p>	 <p>La tercera semana, evidencia que en la parte interna del corte vertical ya se comienza a presenciar un cambio en la coloración del PEBD pasando de verde cobre (1). No se percibe una modificación considerable en el material.</p>	 <p>En la tercera semana, se puede identificar una membrana que recubre superficialmente el material debido a la acumulación de sal.</p>	 <p>El biocomposito no presenta ningún cambio en el corte vertical que se realizó. Además de esto, en esta sección no se percibe ningún tipo de corrosión por parte del grafito.</p>
<p>4</p>	 <p>En la semana cuatro, a pesar de tener el material sometido de forma continua en agua de mar, no presenta una modificación drástica en la estructura.</p>	 <p>En la cuarta semana, no se identifica ningún cambio considerable además de la presencia de pequeñas secciones de color cobrizo que indican la corrosión del material desmoldante.</p>	 <p>En concordancia a la semana tres, en esta el biocomposito PEBD+RF se encuentra en perfectas condiciones y no tiene ninguna modificación notoria.</p>

Fuente: Autores

5. Evaluación de materiales

A partir de los resultados obtenidos en la caracterización de los biocompositos, se evaluó la potencial aplicabilidad de los mismos para la propuesta del sistema de abastecimiento de agua potable en el corregimiento de Nueva Venecia. Se busca un material con una adecuada interfase entre el PEBD y las fibras de banano que aumente la impermeabilidad de los biocompositos y resistencia ante la corrosión salina.

Para el análisis de los criterios de evaluación, se implementó el método del criterio analítico completo, utilizado para la ponderación desde tres (3) a ocho (8) categorías (Martín, 2012). En este caso, se evaluaron solamente tres (3) de estas; interface de unión; porcentaje de hinchamiento y resistencia a la corrosión.

En primer lugar, se estableció el nivel de representatividad de cada categoría, de acuerdo a su grado de afectación en el comportamiento general del material en un puntaje que va de 1 a 10. El porcentaje de hinchamiento y la resistencia a la corrosión salina, se consideraron como criterios de igual importancia. La interface de cada biocomposito, fue evaluada mediante MEB y es la que menos representatividad tienen de las categorías, debido a que brinda un acercamiento a la estructura microscopía de los materiales y no a su comportamiento en la implementación.

En la Tabla 15 se presenta la ponderación de las categorías y el porcentaje representativo de cada una para la evaluación de los materiales.

Tabla 15. Ponderación de las categorías

Categoría	Interfase (MEB)	Porcentaje de hinchamiento	Resistencia a la corrosión
Valoración	4	6	6
Valor ponderado (%)	26	37	37

Fuente: Autores

A continuación, se evaluaron solamente las composiciones 80/20 para cada biocomposito, debido a que fueron los compuestos que presentaban mejor compactación. En la Tabla 16 se reconocen la valoración para los tres (3) biocompositos en las cuatro (4) categorías escogidas.

Tabla 16. Evaluación de materiales

Categorías	Interfase (MEB)	Porcentaje de hinchamiento	Resistencia a la corrosión	Total
PEBD+PT 80/20	4	8	10	7,7
PEBD+VA 80/20	9	7	10	8,6
PEBD+RF 80/20	7	8	10	8,5

Fuente: Autores

De acuerdo con la Tabla 16, el material con un mayor puntaje en la evaluación del criterio analítico completo resulto ser el PEBD+VA 80/20 con 8,6 sobre un máximo de 10. Debido a la adecuada interfase del polímero y la fibra natural. Cabe resaltar que el material PEBD+RF 80/20, obtuvo un puntaje muy similar al anterior, dado su bajo potencial de absorción de agua y la interfase homogénea evidenciada en las micrografías.

La caracterización de los materiales, funciono como un indicador en la valoración y posterior elección del biocomposito con mejor desempeño; PEBD+VA 80/20, se propone como un posible material de soporte. Con respecto a PEBD+RF 80/20; su buena interfase permitió una apropiada elaboración de las probetas y su bajo porcentaje de captación de agua, lo ubican como un material apto para ser usado como laminados y estructuras

de conducción de agua. Finalmente, en la Tabla 17 se presenta un resumen de los resultados obtenidos a partir de la caracterización de los materiales.

Tabla 17. Resultados generales de la caracterización de los materiales

Materiales	Contenido de agua (%)	Carbono total (%)		Calidad de la interface (MEB)	Porcentaje de hinchamiento (%)	Especies químicas representativas (FTIR)	Corrosión Salina	
		Carbono Fijo	Carbono Volátil					
Fibras vegetales	PT	95,69	19,77	80,23	-	89	Amidas y aminas	-
	VA	90,60	12,72	87,28	-	137	Celulosa, CO, C-O-C	-
	RF	81,27	11,48	88,52	-	401	Alcoholes y COOH Lignina, Aldehídos	-
PEBD		-	-	-	-	1,3	CH ₂	Sin efecto visibles
Biocompositos	PEBD+PT 60/40	-	-	-	Mala	15,2	-	-
	PEBD+VA 60/40	-	-	-	Mala	14,5	-	-
	PEBD+RF 60/40	-	-	-	Buena	24,0	-	-
	PEBD+PT 80/20	-	-	-	Moderada	4,6	-	Sin efecto visibles
	PEBD+VA 80/20	-	-	-	Buena	11,1	-	Sin efecto visibles
	PEBD+RF 80/20	-	-	-	Excelente	3,9	-	Sin efecto visibles

Fuente: Autores



CAPÍTULO V. DISEÑO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO

Objetivo Específico 3. Diseñar el sistema de captación hídrica que cumpla con los requerimientos técnicos y ambientales.

I. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Este capítulo describe el diseño estructural del sistema de captación hídrica que busca abastecer a la comunidad palafítica de Nueva Venecia; a partir de un mecanismo no convencional que tenga la capacidad de captar agua por medio de la precipitación vertical y horizontal en la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM). Dadas las condiciones geográficas del territorio y el diseño estructural del modelo se plantearon dos (2) posibles mecanismos de abastecimiento de agua potable.

1. Propuestas de sistemas de abastecimiento hídrico

Debido a las condiciones socio-ambientales de Nueva Venecia, Magdalena se plantearon dos (2) posibles modelos que corresponden a ubicaciones estratégicas en el corregimiento: el primero se basa en el aprovechamiento del reservorio central (Figura 14) porque es una estructura que fue abandonada y que por sus características se puede utilizar como soporte para el mecanismo que brindará un recurso limitado en la zona de estudio. En segundo lugar, se encuentra el sistema que consiste en una estructura palafítica en la periferia del corregimiento.

Se pretende dimensionar y comparar los dos (2) modelos con la intención de proponer el mecanismo que entable una adecuada relación entre la disponibilidad de material en la zona de estudio, la dimensión socio-ambiental y la capacidad de agua que es recolectada para aumentar la cantidad de personas favorecidas con este sistema.

Los diseños propuestos están basados en el abastecimiento comunitario y no se pretende afectar a los modelos constructivos de la vivienda palafítica para así preservar el patrimonio arquitectónico y promover nuevos mecanismos de abastecimiento poco invasivos en los ecosistemas de ciénaga.

1.1. Dimensionamiento del modelo del reservorio central

El primer modelo se propuso en las coordenadas 10°40'38,5" N y 74°34'22,9" O, debido a que es la zona central donde se encuentra el reservorio (Figura 72), se planteó como una opción al aprovechamiento de esta estructura ya existente. El reservorio se adaptó hace unos años con el fin de almacenar agua traída de tierra firme mediante tubería y desde este punto, distribuirla por medio de puentes a cada una de las casas; así mismo se planteó la opción de incorporar una planta de tratamiento de aguas residuales subterránea (Jimenes, 2018). Sin embargo, ninguna de estas medidas fue exitosa debido la alta inversión requerida, la inviabilidad técnica y a la necesidad de modificar la estructura de las viviendas para su puesta en marcha; lo que supone una falta de entendimiento de los comportamientos socio-culturales de la comunidad sobre el recurso hídrico.

Para explicar de forma específica el modelo anterior, se optó por dividirlo en secciones que analizan su desarrollo.

1.1.1. Reservorio.

Esta es una estructura cuadrada de 10m de longitud que fue hecha a partir de concreto con una altura de 2m y un espesor aproximado de 20 cm (información suministrada por la comunidad). Dadas sus características, se optó por plantear la construcción del primer modelo (Figura 72) sobre el reservorio. Actualmente se encuentra abandonado y tiene una capacidad de almacenamiento de 200 m³.

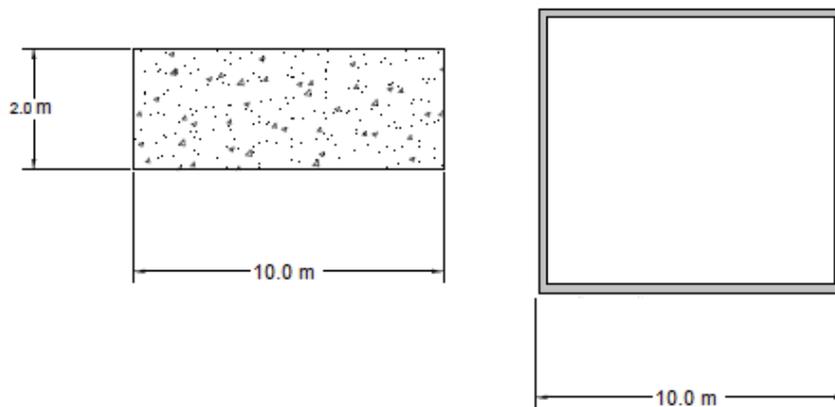


Figura 73. Vista frontal y superior del reservorio central en Nueva Venecia
Fuente: Autores

1.1.2. Pilotes de soporte.

Para aprovechar la totalidad del reservorio, se plantearon 16 pilotes con un diámetro de tres pulgadas, debido a que se asemejan a las estructuras que se elaboran actualmente en la zona de acopio y almacenamiento de plásticos en la Zona Bananera.

Los 16 pilotes se intersectan a una altura de 3 metros por encima del reservorio en un polígono regular de 6 metros de diámetro, la altura se debe a que la vivienda más alta en Nueva Venecia alcanza los tres metros, por ende, si estos pilotes fuesen más altos se tendría un mayor impacto paisajístico. Se plantearon tres diferentes tipos de pilotes de acuerdo a su longitud;

- Tipo 1

Los pilotes tipo 1 (Figura 74) parten desde los centros de las aristas del depósito, en una inclinación del 66% hasta alcanzar los tres metros de altura vertical; sabiendo que la imagen en 2D desde la planta es de dos metros (2m) es posible afirmar que:

$$h^2 = b^2 + a^2 \quad (8)$$

En donde h, es la hipotenusa que corresponde al pilote tipo 1 inclinado y a y b son los dos catetos; aplicando la ecuación trigonométrica de Pitágoras para triángulos rectángulos, se calcula la longitud del pilote Tipo 1 en 3,61m; el total de los cuatro (4) pilotes de este tipo corresponde a un total de 14,4m.

$$h = \sqrt{((3m)^2 + (2m)^2)} = 3,61m \quad (9)$$



- Tipo 2

Los pilotes tipo 2 (Figura 74) parten desde las cuatro (4) esquinas del depósito hasta los tres metros (3m) de altura a una inclinación del 73,7%. Para estimar su longitud se comienza calculando la imagen 2D desde la planta; sabiendo que los pilotes apuntan hacia el centro y que van hasta 3 metros del mismo, debido a la apertura; es posible afirmar que, si se calcula la longitud media de una esquina a la otra del reservorio y se resta el radio de la apertura planteado en 3m, se encontrará entonces la imagen en 2D del pilote, aplicando la ecuación (10), se puede afirmar que:

$$h = \sqrt{((5m)^2 + (5m)^2)} - 3m \quad (10)$$

Dado que la longitud media de cada lado del reservorio es de 5m, se reemplaza este valor en la dimensión de cada cateto; al restar el radio de la apertura central, se evidencia que la imagen 2D de los pilotes tipo dos (2) tiene una longitud de 4,07m. Se toma luego esta medida como base inferior del triángulo con una hipotenusa correspondiente al pilote tipo 2 con altura de 3 metros, aplicando la ecuación (11), es posible afirmar que la longitud del pilote es de 5,06m.

$$h = \sqrt{(4,07m)^2 + (3m)^2} = 5,06m \quad (11)$$

Son en total cuatro (4) pilotes tipo dos (2) que corresponden a una longitud total de 20,2m.

- Tipo 3

Se trata de ocho (8) pilotes que completan las 16 divisiones de la apertura circular central cada 22,5°. Para calcular su longitud se comienza de nuevo, por hallar la imagen superior de los pilotes. Esta vez se calcula mediante la función trigonométrica de coseno determinada en un triángulo rectángulo como:

$$\cos \theta = \frac{CA}{h} \quad (12)$$

Donde CA es el cateto adyacente al ángulo θ , tomado como 5m correspondiente a la longitud media del reservorio. Y h la hipotenusa tomada como el reflejo del pilote tipo dos (2) sumado a los tres metros del radio de la apertura.

$$h = \frac{5m}{\cos 22,5^\circ} - 3m = 2,41 m \quad (13)$$

Este reflejo es tomado como base del triángulo con tres (3) metros de altura cuya hipotenusa corresponde a la longitud total del pilote.

$$h = \sqrt{(2,41m)^2 + (3m)^2} = 3,85m \quad (14)$$

En total corresponden a 30,8 metros para los 8 pilotes requeridos.

Para estas estructuras se propuso como material PEBD+VA80/20 debido a sus características presentadas en el capítulo IV, para conocer la masa requerida en cada componente se identificó su densidad aparente como 0,83 ton/m³ mediante la ecuación (15), las densidades están especificadas en el Anexo 20.



$$d = m/v \quad (15)$$

De acuerdo a lo anterior, se estima que la longitud total requerida para los 16 pilotes es:

$$14,4m + 20,2m + 30,8m = 65,4m \quad (16)$$

El grosor estipulado para los pilotes fue de tres (3) pulgadas, equivalentes a 0,076m de diámetro, dada su geometría cilíndrica y sabiendo que el volumen de un cilindro corresponde a su área circular por la altura (longitud), es posible afirmar que:

$$\left(\frac{0,076m}{2}\right)^2 * \pi * 65,4m = 0,30m^3 \quad (17)$$

Dado a que los pilotes fueron planteados a base de PEBD+VA80/20 con una densidad estimada en este proyecto de 0,83 ton/m³, entonces;

$$0,83 \frac{ton}{m^3} * 0,30m^3 = 0,248 ton \quad (18)$$

Se puede afirmar que la masa total requerida de biocomposito para la fabricación de los pilotes es de 248 Kg aproximadamente.

La Figura 74 presenta cada uno de los pilotes de color morado y de cada uno de estos se adiciona un (1) metro extra de altura para adecuar los tensores de soporte e impedir el ingreso de aves en su interior (Agüero, Valenzuela, Perez, & Troncoso, 2014). Los 16 pilotes, tienen una masa aproximada de 61 Kg de material.

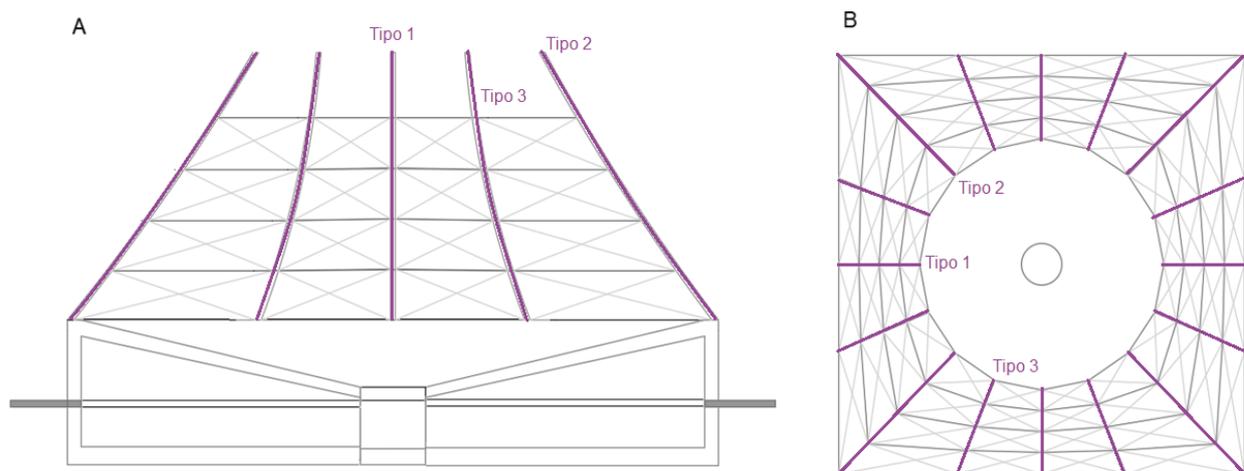


Figura 74. Pilotes de soporte
A. Alzado y B. Planta
Fuente: Autores

1.1.3. Bases secundarias

Para los niveles de las bases secundarias es importante, en primer lugar, resaltar que su imagen en 2D desde planta corresponde a su longitud real en 3D, por lo que es posible calcular sus dimensiones desde el análisis bidimensional del plano.



El nivel superior corresponde a los 16 lados iguales de la apertura central; sabiendo que cada uno se encuentra a $22,5^\circ$ del otro, es posible formar 16 triángulos isósceles de lado 3m con base desconocida que corresponde a cada subdivisión del último nivel.

Apoyados con la Ley de coseno que establece que:

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos\theta \quad (19)$$

Donde b y c son lados conocidos de cualquier triángulo y θ el ángulo entre ellos. Dado esto, es posible afirmar para cada base secundaria en el nivel superior corresponde a:

$$a = \sqrt{(3m^2 + 3m^2 - 2 * 3m * 3m \cos 22.5^\circ)} = 1,17m \quad (20)$$

Siendo un total de 16 bases, la longitud del último nivel corresponde a 18,72 metros.

Para las bases correspondientes se dividió la estructura en ocho (8) secciones iguales para facilitar su dimensionamiento.

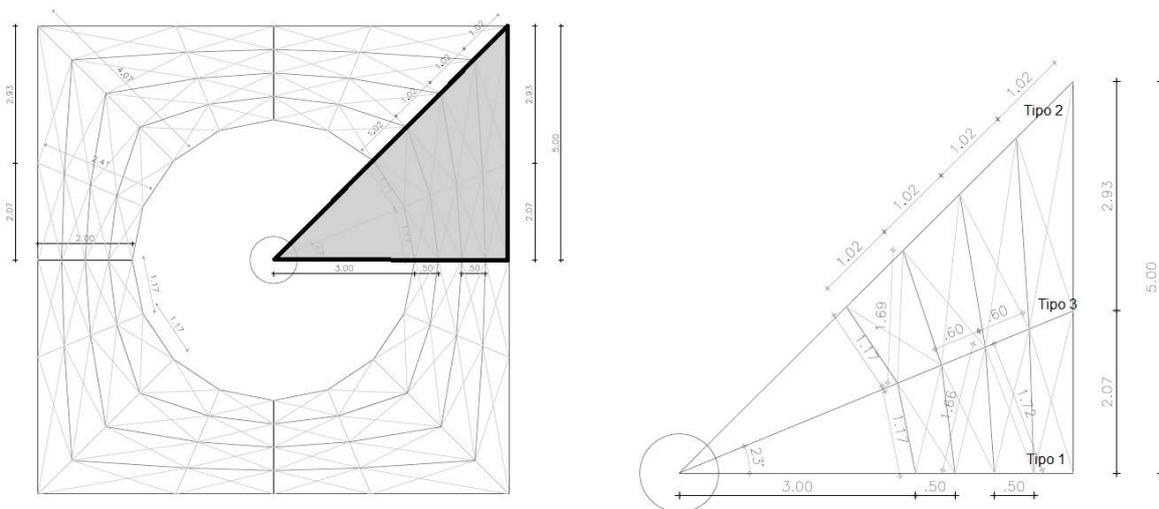


Figura 75. 2D desde plano

Fuente: Autores

A la sección entre el pilote tipo 2 y tipo 3 se llamara sección externa, mientras que la sección entre el pilote tipo 1 y tipo 3 será sección interna.

Las cuatro (4) bases en cada pilote están ubicadas en intervalos iguales, esta distancia se calcula dividiendo la imagen en 2D de cada pilote en cuatro (4): Para los pilotes Tipo 1 se obtiene una distancia de 0,5 m en cada división; para el tipo 2 es de 1,02m y para el tipo 3 de 0,60m.

La ley de coseno se aplica individualmente para cada triángulo escaleno formado por la base desconocida correspondiente a la base secundaria y por dos (2) lados que avanzan gradualmente según las divisiones de cada pilote, de esta manera se calculó en total de lados de cada sección expuestos en la Tabla 18.



Tabla 18. Numero de lados de cada sección expuesta

Nivel	Sección externa	Sección interna
4	1,17m	1,17m
3	1,54 m	1,39 m
2	1,98 m	1,61 m
1	2,45 m	1,84 m
Reservorio	2,93 m	2,07 m

Fuente: Autores

La longitud requerida para cada sección es de 13,2m; en total para toda la estructura se estiman unos 105m aproximadamente de PEBD+VA80/20. Para este caso se planteó una estructura cilíndrica de grosor de dos pulgadas que corresponden a 0,0051m de diámetro. El volumen requerido para las bases es entonces:

$$\left(\frac{0,051m}{2}\right)^2 * \pi * 105m = 0,21m^3 \quad (21)$$

Multiplicado por la densidad aparente del material, indica una masa total de 177 Kg.

De acuerdo al procedimiento anterior, se puede mencionar que se tratan de las estructuras de menor porte que unen todos los pilotes principales (Figura 76) que en total se ornganizan en cuatro (4) niveles simétricos. Están distribuidos uniformemente por cada pilote, por lo que su longitud y separación entre ellos depende de la del pilote principal al que se encuentren anclados.

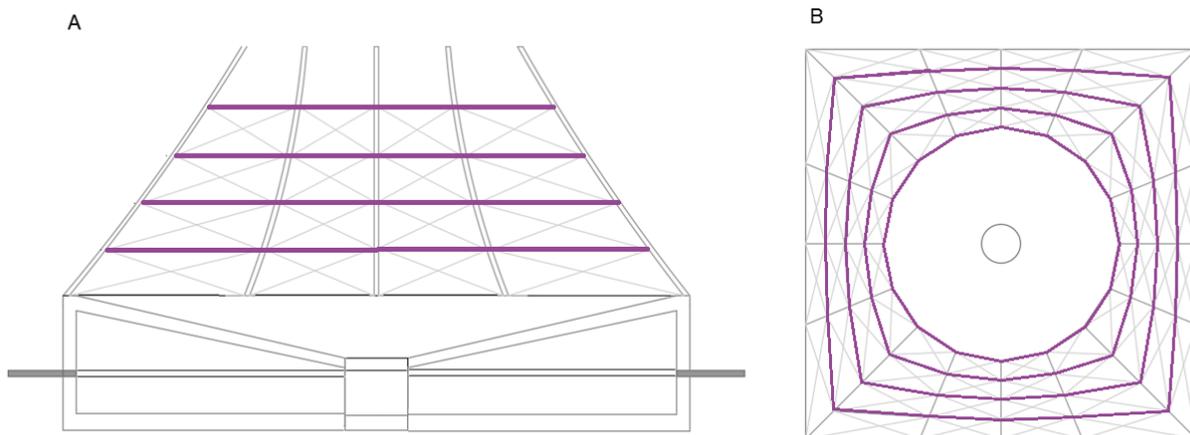


Figura 76. Bases secundarias

A. Alzado y B. Planta

Fuente: Autores

1.1.4. Soporte complementario

Con el fin de reforzar la estructura y crear una base para el enmallado, que se va a encargar de captar la precipitación horizontal, se optó por establecer entrecruzamientos entre los niveles de las bases secundarias, creando estructuras en forma de X que se pueden dimensionar de acuerdo a los trapecios que se forman entre ellos, siendo cada soporte las dos diagonales de los trapezoides (d1 y d2). Las ecuaciones que permites hallar sus medidas son:



$$d1 = \sqrt{a * b * d^2 - a \frac{d^2 - c^2}{a - b}} \quad (22)$$

$$d2 = \sqrt{a * b * c^2 - a \frac{c^2 - d^2}{a - b}} \quad (23)$$

Siendo a, b, c y d los lados de los trapezoides. Para este caso se toma la longitud de cada pilote y se divide en cuatro secciones correspondiente a las divisiones de las bases secundarias, para el pilote tipo 1 resultan en secciones de 0,90 m; para el tipo 2 de 1,26 y para el tipo 3 de 0,96m. Estas subdivisiones son los lados de cada trapecio, las bases de estos son las bases secundarias y se trabajaron de acuerdo a las subdivisiones de la Figura 77.

Tabla 19. Bases secundarias

Nivel	Entrecruces			
	Sección interna (m)		Sección externa (m)	
4	1,35	1,78	0,78	2,35
3	1,53	1,97	1,27	2,65
2	1,73	2,17	1,71	3,05
1	1,93	2,38	2,17	3,49

Fuente: Autores

Al tratarse también de mecanismos de soporte, se escogió como material constructivo el PEBD+VA 80/20; cada uno de estos, cuenta con un grosor de dos (2) pulgadas y una longitud que varía entre los 70cm a los 3,47m. La longitud total requerida es de 258,3 m con una masa estimada de 430 Kg equivalente a 0,52m³.

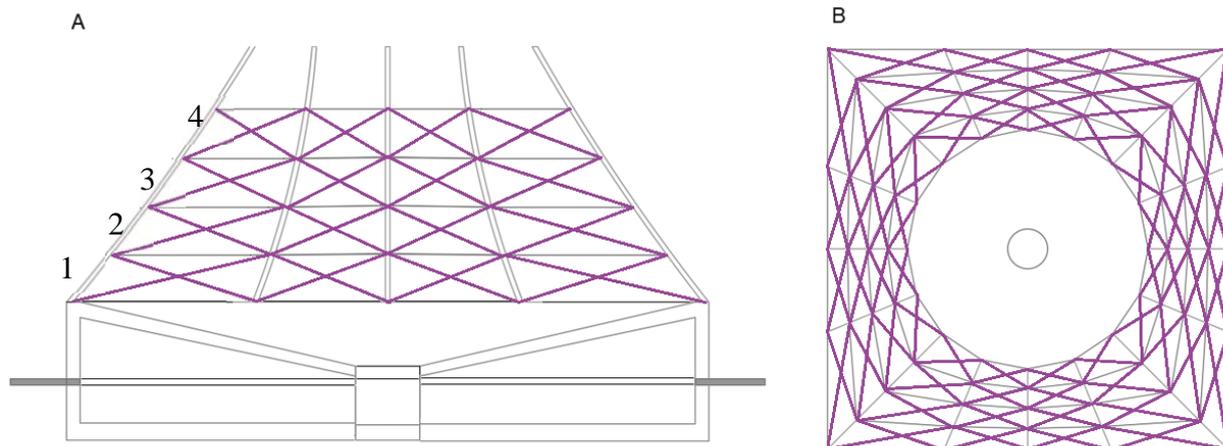


Figura 77. Soportes complementarios

A. Alzado y B. Planta

Fuente: Autores



1.1.5. Soporte del filtro

Son ocho (8) pilotes, cada uno de una altura de 0,7 metros que soportan el filtro, tienen un grosor de tres (3) pulgadas y son ocho (8) en total, para hallar su volumen se multiplica primero su área transversal por la longitud total de material.

$$\left(\frac{0,076m}{2}\right)^2 * \pi * 0,7m * 8 = 0,03 m^3 \quad (24)$$

Sabiendo que el material elegido para esto fue el PEBD+VA80/20, se multiplica por la densidad conocida del material para estimar su masa en la estructura, equivalente a uno 20 Kg.

$$0,83 \frac{ton}{m^3} * 0,03m^3 = 0,02 ton \quad (25)$$

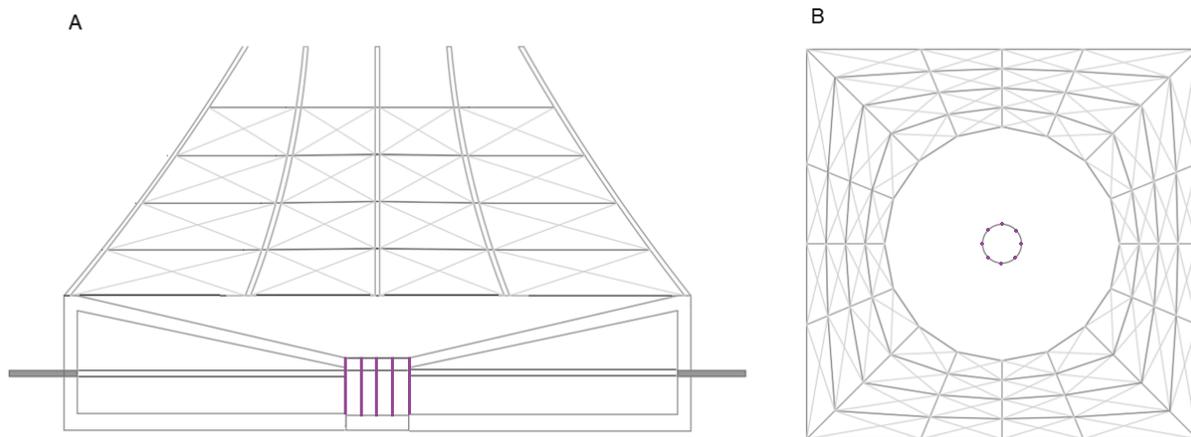


Figura 78. Ubicación de los soportes del filtro en la estructura

A. Alzado y B. Planta

Fuente: Autores

1.1.6. Embudo de recolección de aguas

Como mecanismo de recolección, transporte del agua hacia el filtro y posterior almacenamiento, se plantearon cuatro (4) laminados desde cada lago del reservorio hasta el filtro central; cada uno de estos, cuentan con una base conocida de 10 metros, que se intersectan en el filtro. Usando Pitágoras es posible encontrar la altura de los triángulos isósceles, tomando como lado a la distancia entre el reservorio hasta el centro (5m) y como lado b la profundidad a la que termina el laminado en el filtro (1m).

$$h = \sqrt{(5m)^2 + 1m^2} = 5,10m \quad (26)$$

El área total del triángulo isósceles será la mitad de su base por la altura encontrada.

$$A = \frac{10m * 5,10m}{2} = 25,5 m^2 \quad (27)$$

Sin embargo a esta área se le debe restar la del filtro, cuya área está repartida en los cuatro laminado, representada por:



$$\frac{(0,5m)^2 * \pi}{4} = 0,20 m^2 \quad (28)$$

$$25,5m^2 - 0,20m^2 = 25,30m^2 \quad (29)$$

Pertenciente al área de cada laminado, por ende el área total de material estipulado como PEBD+RF80/20 de acuerdo con la caracterización de materiales es de $101,19 m^2$. Se estima para esto un grosor de 30 cm para un volumen total de $30,36m^3$. Para su masa en este caso se toma la densidad experimental del biocompuesto estimada en $0,75ton/m^3$ (Anexo 20).

$$0,75 \frac{ton}{m^3} * 30,36m^3 = 22,77 ton \quad (30)$$

Se escogió este biocomposito, porque presenta una permeabilidad determinada en la prueba de hinchamiento (Capitulo IV) y a la buena dispersión de las hojas de banano en las estructuras laminares.

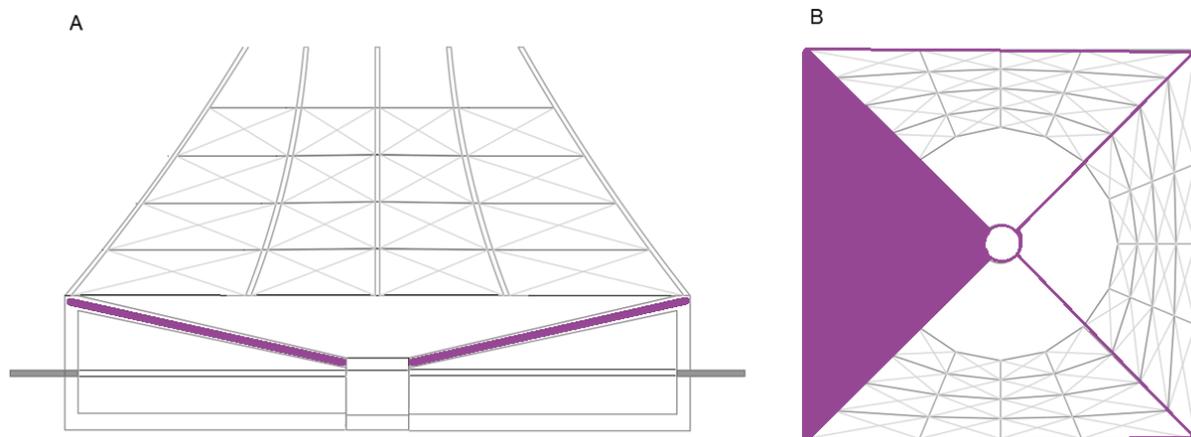


Figura 79. Ubicación del embudo de recolección en la estructura
A. Alzado y B. Vista inferior
Fuente: Autores

1.1.7. Enmallado

Como mecanismo de recolección de agua a partir de la precipitación horizontal, se propuso un sistema de enmallado de PEBD tipo Raschel con sombra del 50% al 65% y densidades que varían entre los $35g/m^2$ hasta los $55,4 g/m^2$ (Raschel, 2019). Para esta estructura, se dividió la Figura 75 en cuatro (4) triángulos con lados conocidos



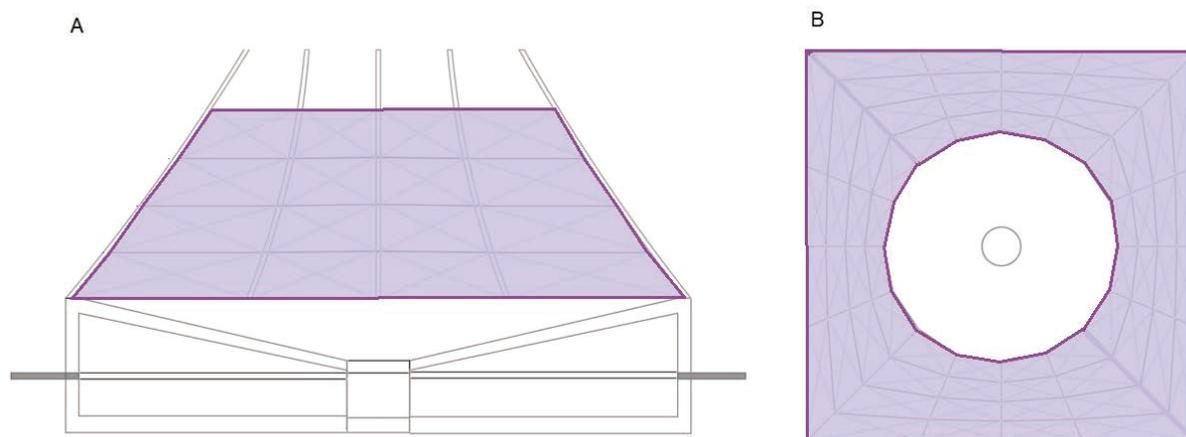


Figura 81. Ubicación del enmallado

A. Alzado y B. Planta

Fuente: Autores

El enmallado de tipo Raschel es un material con una vida útil de tres (3) años y permite la condensación del agua sobre la misma sin alterar las condiciones fisicoquímicas de la sustancia sin interrumpir completamente la masa de aire.

Se ha reportado su eficiencia en diferentes estructuras a nivel mundial. Un ejemplo de esto es el proyecto investigativo: *aplicación en sistemas de atrapanieblas en el norte de Chile* (Quintanilla, Estruch, Aravena, & Villarroel, 2009), en el que se demuestra que el enmallado tiene el porcentaje más alto de captación de agua y a su vez cuenta con una alta resistencia frente a altas temperaturas que puede presentar la zona de estudio; además, su uso es recomendado por la dirección general de aguas de Coquimbo, Chile para este fin (Agüero, Valenzuela, Perez, & Troncoso, 2014).

1.1.8. Sistema de filtrado

La propuesta de la implementación de un filtro se basó en la comparación entre un modelo comercial y uno planteado de manera alternativa para la potabilización de agua en el municipio de Anapoima (Bareño & Figueroa, 2016).

El modelo comercial, es un filtro lento usado para la potabilización de agua en hogares, el filtro cartridge de PiMAG comercializado por Nikken tiene unas dimensiones de 42,3 cm de alto, 22cm de ancho y 32 cm de profundidad. Está compuesto por una capa filtrante de 0,5 micrones para retener partículas pequeñas, seguido por una capa de 22cm de carbón activado usada para la eliminación del color, tensoactivos y componentes orgánicos. Posterior a esto se encuentran una resina de intercambio iónico para la remoción de posibles metales pesados en agua y como prevención al crecimiento de bacterias. En la parte inferior posee una capa de arcilla y una final de arena sílice que estabilizan el pH (Nikken, 2019).

La segunda opción se estableció como el sistema de filtrado lento más exitoso, de acuerdo a Bareño y Figueroa (2016). Se trata de un cilindro de 58cm de diámetro con 90 cm de altura capaz de soportar un caudal de 60 L/h. Para su implementación se comienza con dos capas de arena sílice y granular cada una de 15cm, seguid de una capa de zeolita de 15cm, una de carbón activado 35 cm y finalmente una de grava de 20cm.

La zeolita contribuye a la reducción de fosfatos, sulfatos y cloruros, así como a la retención de sólidos suspendidos disminuyendo DBO y DQO. La arena granular se usa para la retención de partículas



suspendidas en agua y la arena sílice para retener material orgánico e inorgánico en los sólidos suspendidos.

De acuerdo a las referencias anteriores, se comparan ambas composiciones en la Figura 82 para extraer los materiales comunes y establecerlos en el filtro de elección de la propuesta en Nueva Venecia. En primera instancia, la arena sílice es la encargada de la retención de microorganismos en hasta un 99% en sistemas caseros, los patógenos forman una capa de aproximadamente 20 mm en los poros de la arena, se disminuye también el carbono orgánico en hasta un 50%, el color en un 60% y el hierro en un 30% (Bareño & Figueroa, 2016). Por otra parte, el carbón activado captura y degrada moléculas de contaminantes no polares como aceites minerales, hidrocarburos, cloro, sustancias halogenadas y algunos compuestos orgánicos persistentes. Disminuye también la carga de materia orgánica responsable del olor y el color en el agua (Bareño & Figueroa, 2016).

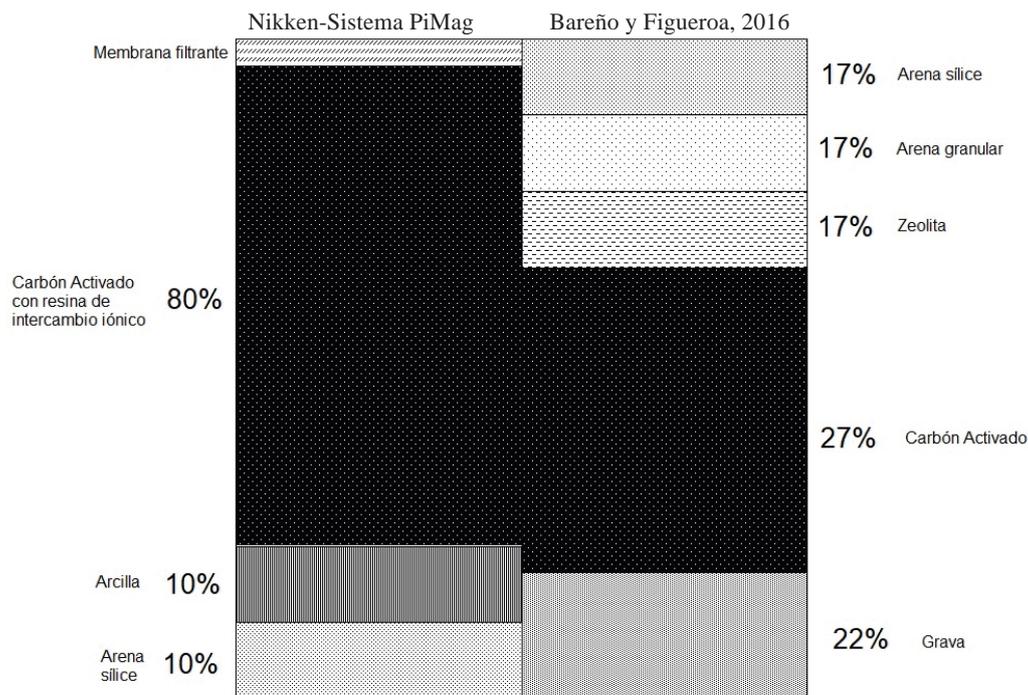


Figura 82. Comparación entre dos sistemas de filtrado de acuerdo a la composición porcentual
Fuente: Autores

En cuanto a los componentes más comunes, se destaca la zeolita. Es un material aluminio silicatado compuesto especialmente de SiO_4 y AlO_4 , contiene un alto grado de hidratación y actúa como absorbente, en agua, disminuye la acidez y retiene partículas de hasta 5 micras (Bareño & Figueroa, 2016). El filtro comercial no posee zeolita, en su lugar la membrana filtrante y la capa de arcilla juegan los papeles de retención de micropartículas, se ha encontrado además que la arcilla mezclada con una solución de plata coloidal, permite la retención de metales pesados y coliformes fecales en porcentajes de 99,56% y 100% respectivamente (Henao, 2010). Por lo que una capa de arcilla podría ser reemplazada por la zeolita en el modelo de comparación.

Finalmente, la grava (no presente en el modelo comercial), regularmente es colocada en la superficie de los filtros como un sistema de drenaje que va desde los 6 - 25 mm de espesor. Reduce los niveles de turbiedad mediante la remoción de partículas en suspensión (Unstsabar, 2005).

De acuerdo con la información anterior, se plantea para esta propuesta un sistema de filtrado con una capa inicial de grava de partícula variable, con el fin de realizar una retención inicial de compuestos



en suspensión y disminuir la turbidez en el agua. Se estableció una proporción de 14% como alternativa a la membrana filtrante de la opción comercial, disminuyendo en 8% la cantidad implementada en el municipio de Anapoima.

Posteriormente se propuso una capa del 70% en carbón activado para la retención de componentes orgánicos apolares y posibles contaminantes halogenados, seguido por una capa de arcilla en proporción del 7% para micropartículas que no pudieron ser retenidas en las anteriores matrices y como alternativa a la zeolita. Porcentajes establecidas de acuerdo a la comparación entre los dos sistemas.

Finalmente se planteó una capa de 9% en proporción al filtro de arena sílice debido a que sus beneficios se corroboraron en los dos sistemas de comparación, actuando como una capa final de disminución del color y de materia orgánica biodegradable.

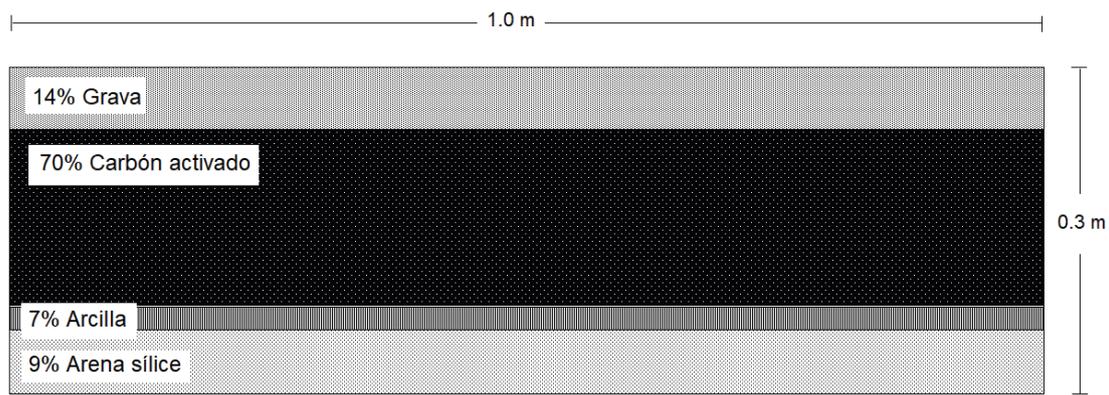


Figura 83. Filtro seleccionado para la propuesta
Fuente: Autores

Para una remoción exitosa de sólidos en grava se requiere un dimensionamiento de 6 lpm/m², por lo que se establece un caudal de capacidad máximo para el filtro de 360 L/h. El filtro en cuestión se dimensionó de 30cm de altura con un área superficial de 1m² con el fin de no sobrecargar el sistema de agua que llega por escorrentía del embudo y por captación directa de la precipitación. Se estima que tiene una vida útil de 3 años (Bareño & Figueroa, 2016).

De acuerdo a la densidad de cada material planteado, es posible calcular la masa aproximada de todo el sistema de filtrado, las densidades están recopiladas en la Tabla 21.

Tabla 21. Densidad de materiales usados

Tipo de material	Densidad (kg/m ³)	Fuente
Grava	1450	(Unstsabar, 2005)
Carbón Activado	500	(Bareño & Figueroa, 2016)
Arcilla	2700	(Henao, 2010)
Arena sílice	1600	(Bareño & Figueroa, 2016)

Fuente: Autores

A partir de lo anterior y con los porcentajes en composición planteados en la Figura 83, se multiplica el volumen total (0,24 m³) del filtro por la composición porcentual de los materiales y se halla su masa de acuerdo a las densidades consultadas. Es posible afirmar que la masa total del filtro es de 208 Kg aproximadamente.



A partir de los parámetros de calidad de agua estimados en el diagnóstico socio ambiental (objetivo 1) y apoyados en los valores reportados por el Invemar (2017) en la “Evaluación de las condiciones ambientales de la Ciénaga Grande de Santa Marta” y en la “Evaluación de la calidad del agua de lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico en Colombia” por Arcila y Zúñiga (2014). Se identificó la calidad teórica del agua lluvia en Nueva Venecia, Magdalena.

De acuerdo con el porcentaje de remoción de propiedades físico-químicas y microbiológicas del filtro suministrado por Bareño y Figueroa (2016) se comparó la calidad teórica del agua filtrada por el diseño estructural, en la Tabla 22.

Tabla 22. Parámetros de calidad del agua suministrados por el filtro

Parámetros	Res. 2115 de 2007	Agua Lluvia	Parámetros de referencia	Porcentaje de remoción del filtro (Bareño y Figueroa, 2016)	Parámetros esperados	Bibliografía
Color aparente (UPC)	15	-	14	0	14	(Arcila y Zúñiga, 2014)
Turbiedad (UNT)	2	-	4.22	92.3	0.3	(Arcila y Zúñiga, 2014)
pH	6,5-9,0	8.99	-	0	8.99	Autores, 2019
Cloro residual libre (mg/L)	0,3-2,0	-	-	100	-	-
Alcalinidad (mg/L)	200	-	5	-58.5	8	(Arcila y Zúñiga, 2014)
Calcio (mg/L)	60	-	-	-1.7	-	-
Fosfatos (mg/L)	0.5	0.44	-	40	0.26	Autores, 2019
Manganeso (mg/L)	0.1	-	-	0	-	-
Molibdeno (mg/L)	0.07	-	-	0	-	-
Magnesio (mg/L)	36	-	-	10	-	-
Zinc (mg/L)	3	-	0.01	-100	0.02	(Invemar, 2017)
Dureza Total (mg/L)	300	59.5	-	1.3	58.7	Autores, 2019
Sulfatos (mg/L)	250	300	-	-38.2	415	Autores, 2019
Hierro (mg/L)	0.3	-	0.1	45.8	0.05	(Arcila y Zúñiga, 2014)
Cloruros (mg/L)	250	10	-	-104	20	Autores, 2019
Nitratos (mg/L)	10	-	0.253	-366.6	1.180	(Invemar, 2017)
Nitritos (mg/L)	0.1	-	0.028	-287	0.108	(Invemar, 2017)
Aluminio (mg/L)	0.2	-	0.04	0	0.04	(Arcila y Zúñiga, 2014)
Fluoruros (mg/L)	1	-	-	-45.2	-	-
COT (mg/L)	5	-	-	60	-	-
Coliformes totales (UFC/100 cm ³)	100	-	241	66.7	80	(Arcila y Zúñiga, 2014)
E. coli (UFC/100 cm ³)	0	-	-	100	-	-
Conductividad	1000	117.4	-	-8.3	127.1	Autores, 2019
IRCA	-	-	94.38	-	0-14	(INCA, 2015)

Fuente: Autores



El filtro aumenta los parámetros de: conductividad, Carbono Orgánico Total (COT), fluoruros, nitritos, nitratos, cloruros, sulfatos, zinc, calcio y alcalinidad debido a las características del filtro. Sin embargo, para el agua filtrada el único parámetro que sobrepasa la resolución es el contenido de sulfatos en 415 mg/L. De acuerdo a lo anterior, se estimó un índice de riesgo de calidad del agua de 0-14 correspondiente a un nivel de riesgo bajo para agua de consumo humano (Bareño & Figueroa, 2016).

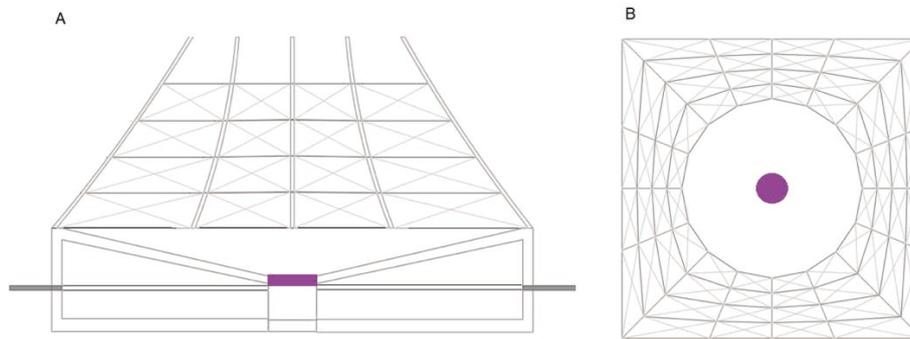


Figura 84. Ubicación del filtro en el sistema

A. Alzado y B. Planta

Fuente: Autores

1.1.9. Masa total del modelo

De acuerdo a la caracterización de materiales establecidos en el capítulo IV, es posible calcular la masa de la estructura, exceptuando la base de concreto, en 26 toneladas aproximadamente con requerimientos de material de acuerdo a la Figura 85.

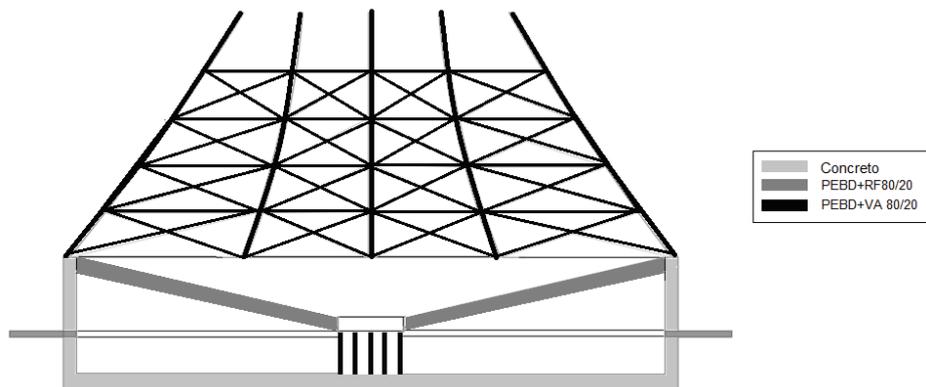


Figura 85. Estructura de acuerdo al material usado

Fuente: Autores

Con base a lo anterior, se estableció en la Tabla 23 la masa total del sistema, de acuerdo a la cantidad de material utilizado para cada estructura. Se estimó tomando como escenario el porcentaje máximo de hinchamiento de cada material en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** 3,9% para el PEBD+RF80/20 y 11,1% para PEBD+VA 80/20. Para un resultado final de 26,16 toneladas soportadas por la base de concreto.



Tabla 23. Masa de los biocompositos seleccionados

Material	Estructura	Masa (ton)	Masa seca (ton)	Masa húmeda (ton)
PEB+RF 80/20	Embudo de recolección		22,77	23,66
	Pilotes de soporte	0,248		
PEBD+VA 80/20	Pilotes protectores	0,06		
	Bases secundarias	0,18	0,94	1,04
	Soportes complementarios	0,43		
	Soportes de filtro	0,02		
	Filtro			0,21
	Enmallado			0,0055
	Masa total +5%			26,16

Fuente: Autores

1.1.10. Producción de materiales

De acuerdo a lo anterior, se debe proyectar el tiempo estimado de producción de cada uno de los materiales requeridos para establecer la estructura. En la Tabla 24 se presenta la masa de cada biocomposito y la masa de los materiales que lo componen. En el caso de las fibras, es importante tener en cuenta que la masa de diseño fue calculada a partir de la masa seca de cada una. Tomando como punto de referencia los resultados de cantidad de agua en biomasa expuestos en el capítulo IV, y teniendo en cuenta el porcentaje de agua en los tejidos de VA y RF, calculados en 90,60% y 81,27% respectivamente, es necesario determinar el peso húmedo de los tejidos para estimar la masa de recolección de cada uno. Se calculó la masa requerida de vástago seco en 0,19 ton y de hojas en 4,55 ton.

Tabla 24. Masa de componentes por material

Material	Masa total (ton)	Masa PEBD (ton)	Masa fibra (ton)
PEB+RF 80/20	22,77	18,22	4,55
PEBD+VA 80/20	0,94	0,75	0,19

Fuente: Autores

En total se necesitaría recolectar unas 18,97 toneladas de PEBD, es decir se requieren unos 911.000 sacos para el desarrollo de los materiales de implementación en el modelo propuesto. De acuerdo con la información suministrada por Juan Vaca, dueño del centro de acopio en Sevilla, Zona Bananera. La menor producción mensual de sacos de polietileno que entran al depósito es de 35 ton al mes, correspondiente a una tasa de producción de 1,2 ton/día de sacos de PEBD en zona bananera, que equivalen a 60.000 sacos, cada uno con una masa aproximada de 20 g. El tiempo de recolección para suplir la demanda del modelo es de 16 días desde el centro de acopio estudiado.

Para el caso específico de VA, se requiere una masa húmeda de 2 ton de tejido vegetal. De acuerdo con Rada (2005), la Zona Bananera del Magdalena tiene una producción de residuos de raquis o vástago estimada en 40 raquis/semana*ha, cada uno con un peso estimado de 2,87 Kg, concluyendo que la tasa de producción de vástagos de banano en las 11.000 hectáreas plantadas en toda Zona Bananera es de 1,262 ton/semana. Se calculó entonces, la producción de la finca bananera de estudio de 2,5 ha en 0,041 ton/día de vástago. Se estima un tiempo de recolección de 49 días hasta completar la masa de 2 toneladas. En caso de tomar la cantidad total de hectáreas sembradas en toda Zona Bananera, se calcula que en 16 minutos se cumpliría la producción de vástagos necesarios para cubrir la demanda de la estructura.



Finalmente, para RF se calculó una masa húmeda de 24,98 toneladas. Se estima que un cultivo promedio de banano tiene una densidad de plantas de entre 2500 a 4000 por hectárea, cada planta con un promedio de producción foliar de 30 hojas durante 9 meses y a su vez, cada hoja con un peso aproximado de entre 150 a 200g (López & Romo, 2005), de acuerdo a esto, la tasa de producción de hojas en la Zona Bananera del Magdalena es de 1,25 ton/ha*mes.

Se puede entonces aproximar la producción de la finca de interés en 3,125 ton al mes, con un tiempo de recolección de 8 meses, y una producción total en 11.000 hectáreas correspondientes a la zona bananera de 458,3 toneladas al día, lo cual suple completamente la masa requerida para la estructura propuesta en 18,3 min.

1.1.11. Potencial de captación hídrica

En última instancia es importante calcular el potencial de recolección hídrico de la estructura, para determinar la población a la cual sería posible abastecer. Como modelo de captación se plantearon dos mecanismos: recolección de agua lluvia y captación de la precipitación horizontal.

- Agua lluvia

Para el cálculo del potencial de captación de agua lluvia se tuvo en cuenta, principalmente, la precipitación efectiva en el período de 2000 - 2014 con datos suministrados por el IDEAM (Anexo 22). En el área circundante a Nueva Venecia no existen estaciones meteorológicas activas ni reportes externos que permitan conocer las dinámicas meteorológicas precisas en el corregimiento, es por esto que los datos analizados corresponden a la estación meteorológica de Sevilla, Zona Bananera, debido a su cercanía con Nueva Venecia y la disponibilidad de datos.

Teniendo en cuenta las medidas de la estructura, se estimó un área superficial con potencial de captación de 100m², valor que de acuerdo a la ecuación (33) se multiplico con la precipitación (Anexo 22) para calcular la captación.

$$Pp \frac{L}{m^2} * 100 m^2 = Captación (L) \quad (33)$$

Teniendo en cuenta la demanda diaria por habitante de 15 L/día (calculada en el capítulo III), se estimó la población abastecida diaria mediante el siguiente procedimiento:

$$Población Abastecida = \frac{Captación(L)}{Días del mes * 15 \frac{L}{hab * día}} \quad (34)$$

Se determinó el potencial de captación y la población abastecida para cada mes. Datos que se observan en la siguiente tabla:

Tabla 25. Estimación media, máxima y mínima del potencial de captación de agua lluvia.

Mes	Media			Máxima			Mínima		
	Pp(mm)	Captación(L)	Población	Pp(mm)	Captación(L)	Población	Pp(mm)	Captación(L)	Población
Ene	0,0	1	0	0,1	13,8	0	0,0	0,0	0
Feb	3,1	307	1	40,4	4040,0	10	0,0	0,0	0
Mar	17,6	1765	4	88,4	8840,0	19	0,0	0,0	0
Abr	63,1	6314	14	179,8	17980,0	40	1,9	190,0	0
May	186,0	18595	40	360,0	36000,0	77	95,0	9500,0	20
Jun	180,7	18066	40	318,4	31840,0	71	48,3	4830,0	11
Jul	159,9	15995	34	593,6	59360,0	128	40,0	4000,0	9
Ago	189,3	18931	41	329,6	32960,0	71	77,4	7740,0	17



Sep	210,2	21023	47	449,4	44940,0	100	74,2	7420,0	16
Oct	338,2	33820	73	637,9	63790,0	137	153,8	15380,0	33
Nov	182,5	18251	41	384,5	38450,0	85	16,7	1670,0	4
Dic	43,9	4386	9	147,6	14760,0	32	0,7	70,0	0
ANUAL	1574,5	157453	29	3529,7	352973,8	64	508,0	50800,0	9

Fuente: (IDEAM, 2019); Autores

Los potenciales máximos y mínimos de recolección se ubican en 353 m³/año, con capacidad de abastecer a 64 personas y 50 m³/año para nueve (9) personas respectivamente. En promedio el sistema tiene una capacidad de captar 157 m³/año, lo suficiente para abastecer a 29 personas.

- Agua atmosférica

El potencial de captación de agua mediante la condensación de la humedad en el aire, depende de tres factores principales: temperatura ambiente; humedad relativa y velocidad del viento. Se mide mediante una malla de captación o un sistema integrado de recolección de agua atmosférica en un periodo de estudio de dos años (Corell, y otros, 2014), sin embargo, debido a limitaciones metodológicas y temporales, se realizó un estimativo de las condiciones meteorológicas apoyados en datos existentes.

De acuerdo con Bautista (2018), el potencial de condensación del agua atmosférica aumenta cuando la humedad relativa de la zona es mayor al 90% y existe una superficie de contacto (Malla Raschel) a la temperatura del punto de rocío. Temperatura a la que se llega gracias a la acción de los vientos. Por otra parte, según Mateus (2015), estas condiciones pueden resumirse en la acción del flujo másico de agua que es transportado en las corrientes de aire, por ende, puede estimarse mediante la siguiente ecuación:

$$ar = dVE \quad (35)$$

Donde ar, es el potencial de recolección de agua en L/m² día; d es la densidad de agua en el aire en valores promedios de 0,2 a 0,5 g/m³; V es la velocidad del viento en m/s y E corresponde a la eficiencia en recolección que varía entre un 1% y 15% (Mateus, 2015).

Se tomaron valores promedios evaluados a partir de los datos obtenidos en la estación meteorológica más cercana (Sevilla, Zona Bananera) (Anexo 23); como densidad de agua en el aire se utilizó un valor promedio de 0,35 g/m³; 0,2 g/m³ para la mínima; de 0,5 g/m³ para la máxima y una eficiencia de recolección del 5% de acuerdo a las recomendaciones dada por Mateus (2015).

Para calcular el volumen captado de agua, se multiplicó el potencial de recolección de agua (35) por el área de captación. Sin embargo, cabe resaltar que la recolección depende de la masa de aire que choque en la edificación, de acuerdo a su dirección, el área de recepción de agua cambiara. Por ende, se tomó solo una de las caras de la estructura como área de recolección, al ser una estructura simétrica se utilizó un cuarto del área total del enmallado como el área de contacto (24,8 m²).

Los valores estimados para el potencial de captación de agua; el volumen de recolección y la población abastecida se presentarán en la Tabla 26.



Tabla 26. Estimación del potencial de captación de agua atmosférica para la estructura del reservorio

Mes	Media				Máxima				Mínima			
	V (m/s)	Potencial (L/m2*día)	Captación (L)	Población	V (m/s)	Potencial (L/m2*día)	Captación (L)	Población	V (m/s)	Potencial (L/m2*día)	Captación (L)	Población
Ene	4,5	6,8	5233	11	5,6	12,1	9303	20	3,4	2,9	2259	5
Feb	4,9	7,4	5147	12	5,9	12,7	8853	21	3,9	3,4	2341	6
Mar	5,1	7,7	5931	13	6,1	13,2	10134	22	4,1	3,5	2724	6
Abr	3,8	5,7	4276	10	4,8	10,4	7717	17	2,8	2,4	1801	4
May	3,2	4,8	3663	8	3,3	7,1	5482	12	3	2,6	1994	4
Jun	2,7	4,1	3038	7	2,7	5,8	4341	10	2,7	2,3	1736	4
Jul	2,9	4,3	3314	7	3,2	6,9	5316	11	2,5	2,2	1661	4
Ago	2,9	4,4	3372	7	3,1	6,7	5150	11	2,7	2,3	1794	4
Sep	2,6	3,9	2926	7	2,6	5,6	4180	9	2,6	2,2	1672	4
Oct	2,4	3,6	2733	6	2,5	5,4	4153	9	2,2	1,9	1462	3
Nov	2,6	3,9	2926	7	2,9	6,3	4662	10	2,3	2,0	1479	3
Dic	3,7	5,6	4303	9	4,5	9,7	7476	16	2,9	2,5	1927	4
ANUAL	3,4	5,2	46862	9	3,9	8,5	76766	14	2,9	2,5	22850	4

Fuente: (IDEAM, 2019); Autores

El valor medio de recolección de precipitación horizontal anual fue de 46,9 m³, capacidad que es suficiente para abastecer a nueve (9) personas. Los valores más favorables, indican un potencial de captación de 77 m³ suficiente para 14 personas; análogamente la captación mínima se ubica en los 22,8 m³ para el abastecimiento de cuatro (4) personas.

A modo de discusión, el valor promedio del potencial de captación de agua atmosférica en Nueva Venecia se calcula en 5,2 L/m2*día. Valor comparable con lo estimado de acuerdo con Olivas, Cariño, Bautista, Chavez, & Tagles (2018); con reportes de potencial de 4 L/m2*día en Chugungo, Chile; Islas Canarias y Norte de Valencia, España. 3,3 L/m2*día en la ciudad de Abha y 6,215 L/m2*día en el poblado de Alsooda en Arabia Saudita.

De acuerdo al estimativo de potencial de captación hídrico, la estructura planteada tiene una capacidad de captación de precipitación vertical y horizontal promedio de 204 m³ suficiente para abastecer a 37 personas durante todo el año, con valores máximos de 429,7 m³ y mínimos de 73,7m³.

A partir del valor máximo de captación total, se dimensiono el volumen del depósito, se determinó por medio de los niveles máximos de captación para evitar su rebose en cualquier circunstancia. Se inició sumando el volumen máximo captado de agua lluvia y atmosférica para cada mes y se determinó la población abastecida. Posteriormente se calculó la demanda total de agua en cada mes mediante la ecuación (36)

$$\text{Demanda (m}^3\text{)} = \text{poblacion promedio} * \frac{15 \frac{L}{\text{hab} * \text{día}}}{1000 \frac{L}{\text{m}^3}} * \text{Días del mes} \quad (36)$$

Luego se realizó el balance hídrico por medio de la diferencia entre la captación y la demanda. En el primer mes con balance positivo (mayo), se comienza a almacenar agua; a este valor se le adiciona el balance del siguiente mes para determinar los próximos volúmenes de depósito. El mes con el valor más alto representara el volumen máximo que debe ser asegurado.

Tabla 27. Dimensionamiento del depósito

Mes	Captación (m ³)	Población abastecida	Demanda (m ³)	Balance (m ³)	Volumen Acumulado
Ene	9.3	20	36.5	-27.2	47.2
Feb	12.9	31	33.0	-20.1	27.1
Mar	19.0	41	36.5	-17.5	9.6
Abr	25.7	57	35.3	-9.6	0.0
May	41.5	89	36.5	5.0	5.0
Jun	36.2	80	35.3	0.9	5.8
Jul	64.7	139	36.5	28.2	34.0
Ago	38.1	82	36.5	1.6	35.6
Sep	49.1	109	35.3	13.8	49.4
Oct	67.9	146	36.5	31.4	80.9
Nov	43.1	96	35.3	7.8	88.7
Dic	22.2	48	36.5	-14.3	74.4
ANUAL	429.7	78	430	-	-

Fuente: Autores

Para evitar el rebose de agua el tanque debe tener un volumen mínimo de 88,7 m³; teniendo en cuenta que el reservorio tiene una capacidad total de 200 m³, no se tendría riesgo de rebose y el deposito estaría sobredimensionado. El dimensionamiento del tanque se realizó bajo los parámetros establecidos por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y ciencias del ambiental (CEPIS/OPS) (2004).

1.1.12. Consideraciones finales

El proyecto de ley 48 de 2017, establece las directrices para la captación y el aprovechamiento de agua lluvia en el país, tomando como punto de referencia el código colombiano de fontanería NTC 1500.

En este, se menciona que el sistema de captación hídrica, “debe contar con un acceso al agua sin necesidad de mover o quitar algún panel, puerta o elementos similar” (Icontec, 2004). Para esto, se establecieron dos plataformas a cada lado del reservorio con una escalera para facilitar el acceso desde chalupa. Establece además una apertura de tubería de desagüe de mínimo 8mm, en este caso se ubican a lado y lado del reservorio a 1 metro de altura desde el agua y no soportan carga estructural como lo establecido en el código. De acuerdo a la localización, los sistemas de suministro de agua deben “estar situados en la edificación servida por tales sistemas y no en predios diferentes” (Icontec, 2004).

En cuanto a los materiales estructurales, la NTC 1.500 en su artículo 4.10.6, indica la necesidad de asegura fachadas impermeables, en este caso, el material compuesto cumple con los parámetros de impermeabilidad dado su bajo porcentaje de hinchamiento caracterizado en el capítulo IV. Por último, se propusieron 16 tensores de alambre galvanizado de acuerdo con lo estipulado por Poveda y Sanabria (2017), sujetos a pilotes externos que se encuentran anclados en el lecho de la ciénaga a 1,5m de profundidad (estipulados en el plano Figura 72) para asegurar que la estructura se mantenga firme, dado la circulación constante del viento.

1.2. Dimensionamiento del modelo palafítico en la periferia

El modelo palafítico se encuentra en las coordenadas 10°50'1,06" N y 74°34'20,017" O, zona donde no se encuentran viviendas circundantes. Fenómeno que aumenta la velocidad del viento y el oleaje. Está ubicado 200 metros al noroeste de Nueva Venecia debido a que los vientos llegan predominantemente de esa dirección, e incrementan el potencial de captación hídrica.

Al no contar con un soporte que lo sostenga, requiere de una base que se encuentre anclada a la superficie terrestre y funcione como cimiento. Dado lo anterior, se optó por diseñar un mecanismo que supla la función del reservorio en el diseño anterior. Se realizó siguiendo el modelo estructural típico de Nueva Venecia, por ende, se planteó como una estructura palafítica en concordancia a las viviendas del lugar.



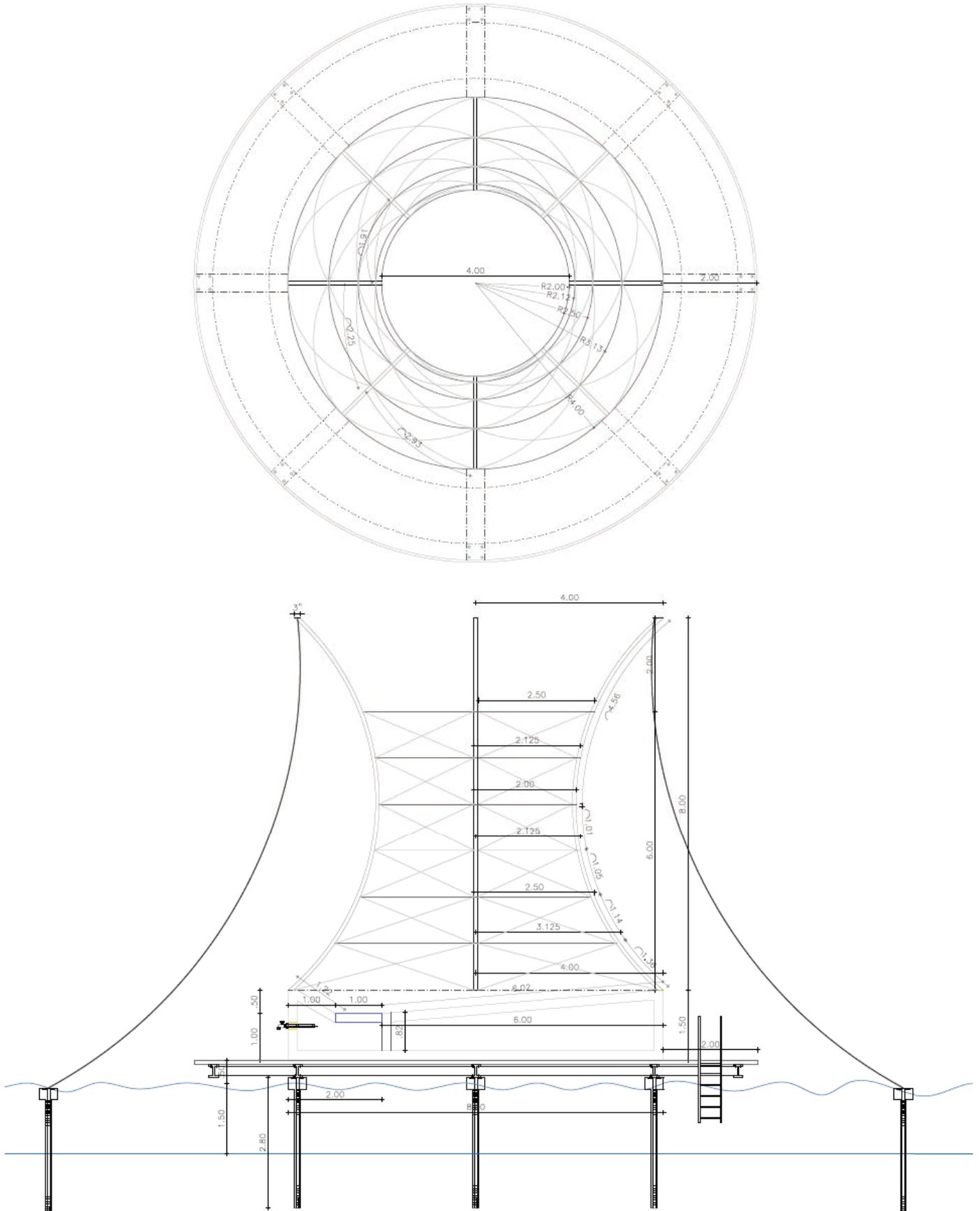


Figura 86. Estructura para la captación hídrica en la periferia
Fuente: Autores



Para la explicación del modelo anterior, se optó por dividirlo en diferentes secciones que se analizarán en detalle a continuación.

1.2.1. Pilotes de soporte

Para esta estructura se plantearon ocho (8) pilotes principales ubicados a 45° entre ellos, creando un círculo externo de ocho (8) metros de diámetro. Cada uno tiene una longitud total de 9,13m determinada en el Anexo 21. Posee una curvatura hacia el centro de la estructura que forma un círculo interno de cuatro (4) metros de diámetro, con una geometría semi elipsoidal que le aporta una mejor fuerza de arrastre y contribuye a aumentar la eficiencia en la recolección de agua por área (Sanchez & Arellano, 2004).

Al igual que la estructura anterior, los pilotes tienen un grosor de tres (3) pulgadas de diámetro y están planteado a partir de PEBD+VA 80/20. La producción estimada es de 72,96m con un volumen de 0,33m³, equivalentes a 280 Kg de biocomposito. Esto se presenta en la Figura 87 en color rojo.

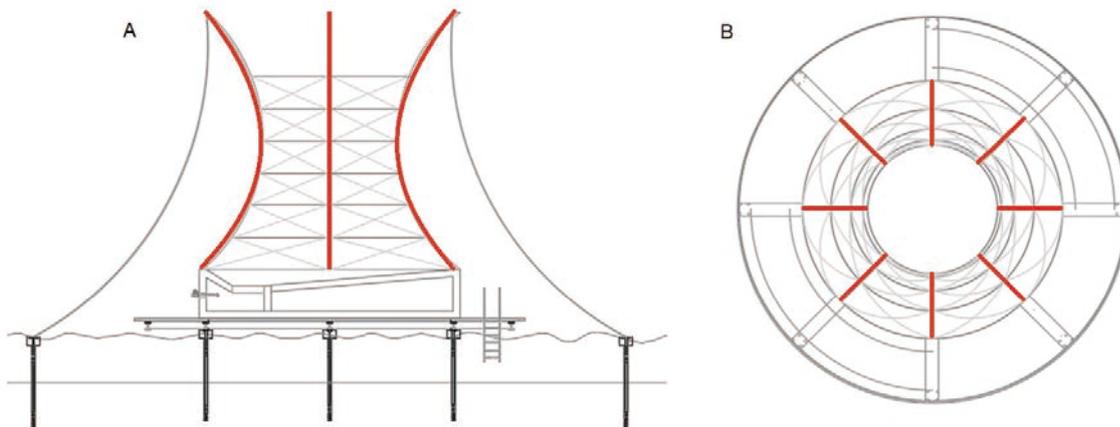


Figura 87. Vista frontal y superior de la estructura palafítica de soporte
A. Alzado y B. Planta
Fuente: Autores

Cada uno de estos pilotes se sostiene sobre 1,5 metros adicionales de PEBD+VA80/20 anclados directamente a la estructura palafítica. Para los 8 soportes se requieren 12 metros de biocomposito con un grosor de 3 pulgadas, su masa se estima mediante la multiplicación del volumen y la densidad del material calculada con anterioridad, estimada en 50 Kg aproximadamente.

$$12,0 \text{ m} * \left(\frac{0,076\text{m}}{2}\right)^2 * \pi * 0,83 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} = 0,05 \text{ ton} \quad (37)$$



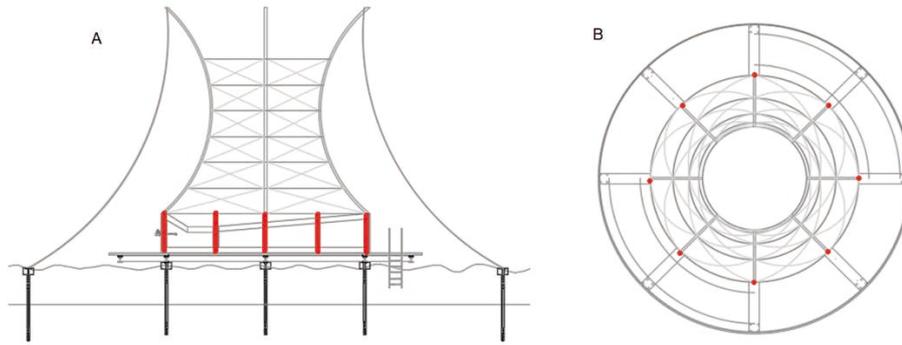


Figura 88. Vista frontal y superior de los soportes
A. Alzado y B. Planta
Fuente: Autores

1.2.2. Bases secundarias

Estas estructuras, se encargan de unir cada pilote de tal forma que le otorgue una mayor resistencia al modelo para soportar el peso que ejerce el agua captada. Se basa en seis (6) círculos concéntricos que rodean la estructura cada metro hasta alcanzar los seis (6) metros. La integral de longitud del Anexo 21 es evaluada cada metro para conocer el lugar en el pilote en donde se ubican las bases, dando como resultado los siguientes puntos de referencia:

Tabla 28. Longitud entre las bases

Límite evaluado	Punto en Y	Longitud entre bases
a=4	4,59 m	1,36 m
a=3	3,261m	1,14 m
a=2	2,080m	1,05 m
a=1	1,101m	1,101 m

Fuente: Autores

Estas distancias determinan la altura del pilote de soporte en la que se ubican las bases.

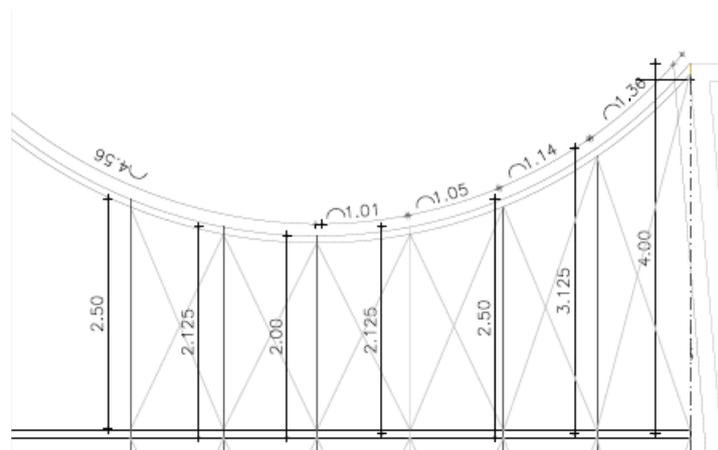


Figura 89. Dimensiones de las bases secundarias
Fuente: Autores

Los radios se determinaron reemplazando los puntos de interés en la función planteada y asumiendo un aumento de dos (2) unidades debido al radio de la apertura central, dado esto se determinó el perímetro para cada círculo correspondiente a dos veces el radio multiplicado por π .



Tabla 29. Dimensionamiento de las bases

h (m)	r (m)	Perímetros (m)
1	3,125	19,63
2	2,500	15,71
3	2,125	13,35
4	2,000	12,57
5	2,125	13,35
6	2,500	15,71

Fuente: Autores

Al igual que en el modelo anterior, se plantearon bases de PEBD+VA80/20 con un grosor de dos (2) pulgadas para una longitud total requerida de 115,45m, agregando una base inicial de 4 m de radio ubicada en la parte inferior de la estructura. Obteniendo un volumen de 0,23m³ equivalentes a 190Kg, determinado mediante:

$$115,45 \text{ m} * \left(\frac{0,051\text{m}}{2}\right)^2 * \pi * 0,83 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} = 0,19 \text{ ton} \quad (38)$$

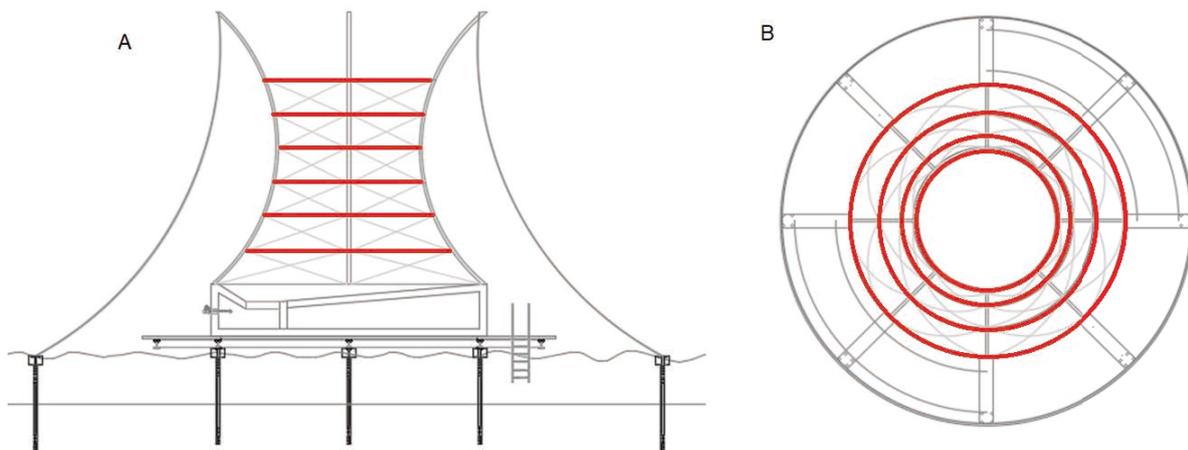


Figura 90. Vista frontal y superior de las bases secundarias
A. Alzado y B. Planta

Fuente: Autores

1.2.3. Soportes complementarios

Consisten en estructuras entrecruzadas que se encuentran entre cada base secundaria; impiden la deformación y funcionan como soporte para el enmallado. Se dimensionaron mediante las ecuaciones para hallar las diagonales del trapecoide en las ecuaciones (22) y (23). Para esto se dividió la estructura en ocho (8) secciones iguales. La octava parte de cada perímetro se puede interpretar como ambas bases de los trapecoides formados entre cada base secundaria de la sección, la altura es constante y fue estimada en la Figura 89.



De esta manera se calcula la longitud se cada soporte para cada sección como:

Tabla 30. Dimensionamiento de soportes complementarios

Altura (m)	radio (m)	Perímetro (m)	1/8 perímetro (m)	Longitud entre bases (m)	Soportes complementarios (m)
1	3,125	19,63	2,45	1,36	3,01
2	2,500	15,71	1,96	1,14	2,44
3	2,125	13,35	1,67	1,05	2,08
4	2,000	12,57	1,57	1,01	1,91
5	2,125	13,35	1,67	1,01	1,91
6	2,500	15,71	1,96	1,05	2,08

Fuente: Autores

Teniendo en cuenta que cada sección se basa en dos soportes entrecruzados y que toda la estructura puede descomponerse en ocho (8) secciones iguales; se suman las longitudes y se tiene un requerimiento total de PEBD+VA de dos pulgadas de grosor en 214,79m para los soportes. La masa de material requerida se estima en 360 Kg, como:

$$214,79 \text{ m} * \left(\frac{0,051\text{m}}{2}\right)^2 * \pi * 0,83 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3} = 0,36 \text{ ton} \quad (39)$$

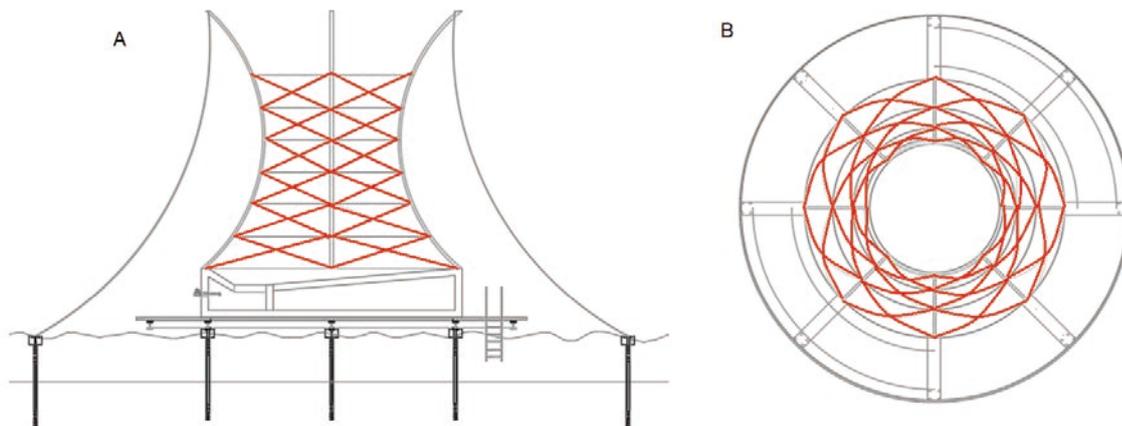


Figura 91. Vista frontal y superior de los soportes complementarios

A. Alzado y B. Planta

Fuente: Autores

1.2.4. Embudo de recolección

El transporte del recurso hídrico hasta el filtro, se basa en un sistema elipsoidal que se encarga de conducir el agua que es captada por medio de la precipitación directa u horizontal de forma descendente hasta el filtro. Su geometría corresponde a un cono truncado cuya área superficial se determina mediante:

$$A = \pi[R^2 + r^2 + (R + r) * g] \quad (40)$$



Donde R es el radio de la base mayor, r el de la base menor y g es la generatriz; dada por:

$$g = \frac{h + H}{2} \quad (41)$$

Siendo h la altura transversal menor y H la mayor. Estas dimensiones se calculan mediante la ecuación (8) tomando la altura como la hipotenusa del triángulo rectángulo formado. Para h se toma:

$$h = \sqrt{(0,7m)^2 + 1m^2} = 1,22m \quad (42)$$

y para H :

$$H = \sqrt{(0,7m)^2 + (6m)^2} = 6,04m \quad (43)$$

Reemplazando en la ecuación (40) se tiene que:

$$A = \pi[(4m)^2 + (0,5m)^2 + (4,5m) * \frac{1,22m + 6,04m}{2}] \quad (44)$$

$$A = 102,38m^2$$

Tomando el laminado con un grosor de 30cm, se estima la masa total como:

$$102,38 m^2 * 0,3m * 0,75 \frac{ton}{m^3} = 23,04 ton \quad (45)$$

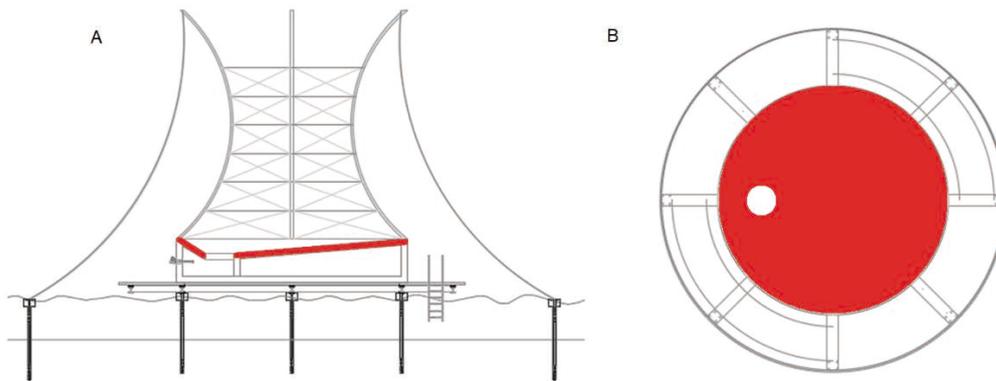


Figura 92. Vista frontal y superior del embudo de recolección

A. Alzado y B. Planta

Fuente: Autores

1.2.5. Enmallado

El enmallado recubre toda la estructura hasta los seis (6) metros de altura. Para calcular su área superficial se realizó una transformación de la función inicial utilizada para adecuarla al radio de la estructura definida como:



$$f(x) = \frac{x^2}{8} + 2 \quad (0,4) \quad (46)$$

A partir de la imagen de la función se proyecta un sólido de revolución sobre el eje X que coincide con la geometría de la estructura planteada.

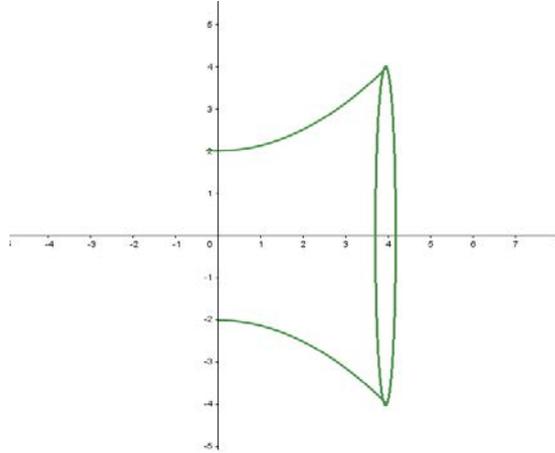


Figura 93. Sólido de revolución para la función transformada
Fuente: Autores

Para calcular su área superficial se utiliza la siguiente ecuación:

$$S = 2\pi \int_a^b f(x) \sqrt{1 + (f'(x))^2} dx \quad (47)$$

Calculando la derivada de la función como:

$$f'(x) = \frac{x}{4} \quad (0,4) \quad (48)$$

Se reemplaza entonces en la ecuación (47).

$$S = 2\pi \int_a^b \left(\frac{x^2}{8} + 2 \right) \sqrt{1 + \frac{x^2}{16}} dx \quad (49)$$

La integral se resuelve realizando las mismas equivalencias tomadas en el Anexo 21, dando como resultado:

$$S = 2\pi \left[\frac{x}{128} \sqrt{x^2 + 16} (x^2 + 40) + 3 \operatorname{senh}^{-1} \frac{x}{4} \right]_a^b \quad (50)$$

La zona enmallada corresponde a toda la estructura hasta los 6 metros de altura, se evalúa entonces la integral definida desde -2 a 4, debido a la simetría de la figura.

$$S = 2\pi \left[\frac{4}{128} \sqrt{32} (56) + 3 \operatorname{senh}^{-1} 1 + \frac{2}{128} \sqrt{20} (44) + 3 \operatorname{senh}^{-1} \frac{1}{2} \right] \quad (51)$$

$$S = 107,20 \text{ m}^2$$



Conociendo la densidad de la malla Raschel, es posible afirmar que la masa requerida para su implementación es de:

$$55,4 \frac{g}{m^2} * 107,20m^2 = 0,00594 ton \quad (52)$$

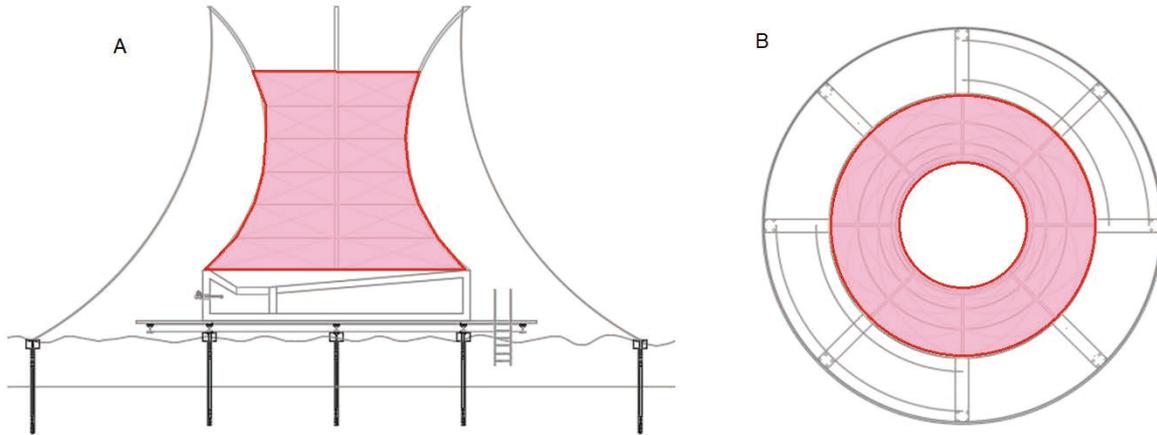


Figura 94. Vista frontal y superior del enmallado en la estructura
A. Alzado y B. Planta

Fuente: Autores

1.2.6. Sistema de filtrado

El sistema de filtrado, fue diseñado con los mismos componentes y bajo la misma revisión bibliográfica que el filtro para el primer diseño. Dentro de los componentes a usar para los dos (2) mecanismos de filtrado se encuentran grava, carbón activado, arena y arena sílice con sus respectivas proporciones (Figura 83). La única diferencia que tiene el segundo filtro sobre el primero es la localización. En este diseño, el filtro se encuentra ubicado en la parte inferior izquierda de la estructura palafítica debido a que, al ser una figura elipsoidal hueca, no se puede colocar el filtro en la mitad de la estructura dado su difícil acceso. Así mismo, el filtro no se encuentra sujeto a pilotes como en el diseño uno si no al tanque de almacenamiento de agua.

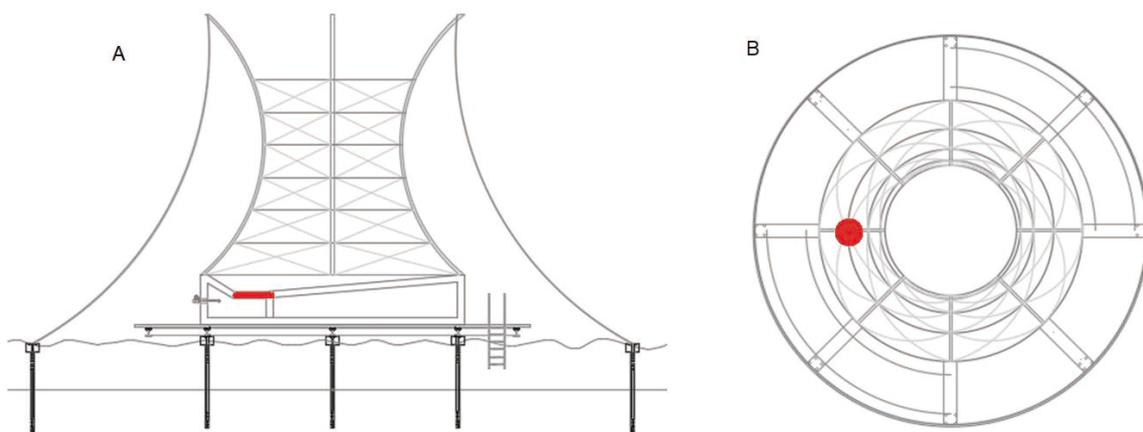


Figura 95. Vista frontal y superior del enmallado en la estructura
A. Alzado y B. Planta

Fuente: Autores



1.2.7. Masa total del modelo

La masa de la estructura es de 28 toneladas aproximadamente con requerimientos de material de acuerdo a la Figura 96.

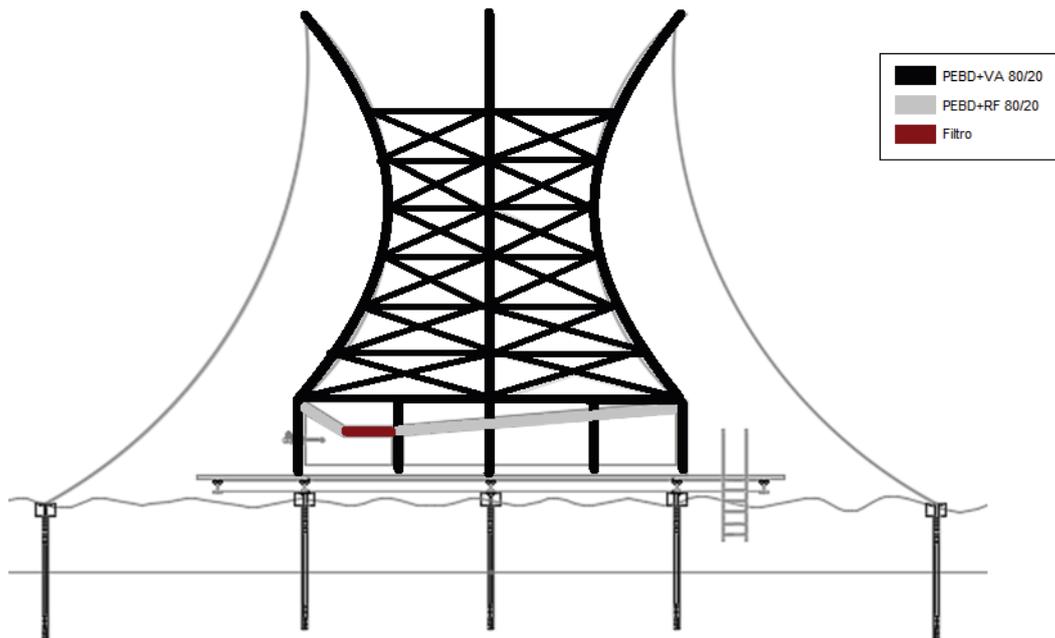


Figura 96. Estructura de acuerdo al material usado
Fuente: Autores

En la Tabla 31 se encuentra la masa total del sistema de acuerdo a la cantidad de material utilizado para cada estructura. Se toman en cuenta los porcentajes de hinchamiento nuevamente de cada material.

Tabla 31. Masa de los biocompositos seleccionados

Material	Estructura	Masa (ton)	Masa seca (ton)	Masa húmeda (ton)
PEB+RF 80/20	Embudo de recolección		23,04	25,62
PEBD+VA 80/20	Pilotes de soporte	0,32		
	Bases secundarias	0,19	0,88	0,91
	Soportes complementarios	0,36		
	Filtro			0,21
	Enmallado			0,0059
	Masa total +5%			28,08

Fuente: Autores

1.2.8. Producción de materiales

A partir de lo mencionado en la producción de materiales del diseño anterior, se presenta la masa de cada biocomposito y los materiales que lo componen en la Tabla 32.

Tabla 32. Masa de componentes por material

Material	Masa total (ton)	Masa PEBD (ton)	Masa fibra (ton)
PEB+RF 80/20	25,62	18,43	4,61
PEBD+VA 80/20	0,91	0,75	0,18

Fuente: Autores



En total se necesitaría recolectar unas 19,13 toneladas de PEBD, es decir se requieren unos 956.000 sacos; recolectados en el centro de acopio en un tiempo aproximado de 17 días. Para VA, se requiere una masa húmeda de 1,87 ton de tejido vegetal con un tiempo de recolección de 1 mes y medio (45 días) en la finca de estudio y 15 minutos en toda la Zona Bananera. Finalmente, para RF se calculó una masa húmeda de 25,27 toneladas con un tiempo de recolección de ocho meses, y una producción total en la Zona Bananera que se supl en 18,5 min.

1.2.9. Potencial de captación hídrica

Se estimó el potencial para la captación de agua lluvia y agua horizontal en las afuera del corregimiento de Nueva Venecia, Magdalena.

- Agua lluvia

Se tuvo en cuenta la precipitación en el período de 2000 - 2014 con datos suministrados por el IDEAM Anexo 22. En el área circundante a Nueva Venecia no existen estaciones meteorológicas activas ni reportes externos que permitan conocer las dinámicas meteorológicas precisas en el corregimiento, es por esto que los datos analizados corresponden a la estación meteorológica de Sevilla, Zona Bananera, debido a su cercanía con Nueva Venecia y la disponibilidad de datos.

Teniendo en cuenta el procedimiento realizado en este apartado para el diseño 1, se determinó el potencial de captación y la población abastecida mensualmente. Datos que se observan en la siguiente tabla:

Tabla 33. Estimación media, máxima y mínima del potencial de captación de agua lluvia.

Mes	Media			Máxima			Mínima		
	Pp(mm)	Captación(L)	Población	Pp(mm)	Captación(L)	Población	Pp(mm)	Captación(L)	Población
Ene	0,0	0	0	0,1	7.0	0	0,0	0.0	0
Feb	3,1	154	0	40,4	2030.7	5	0,0	0.0	0
Mar	17,6	887	2	88,4	4443.5	10	0,0	0.0	0
Abr	63,1	3174	7	179,8	9037.7	20	1,9	95.5	0
May	186,0	9347	20	360,0	18095.6	39	95,0	4775.2	10
Jun	180,7	9081	20	318,4	16004.5	36	48,3	2427.8	5
Jul	159,9	8040	17	593,6	29837.6	64	40,0	2010.6	4
Ago	189,3	9516	20	329,6	16567.5	36	77,4	3890.5	8
Sep	210,2	10567	23	449,4	22589.3	50	74,2	3729.7	8
Oct	338,2	17000	37	637,9	32064.4	69	153,8	7730.8	17
Nov	182,5	9174	20	384,5	19327.1	43	16,7	839.4	2
Dic	43,9	2204	5	147,6	7419.2	16	0,7	35.2	0
ANUAL	1574,5	79144	14	3529,7	177424.0	32	508,0	25534.9	5

Fuente: (IDEAM, 2019); Autores

Los potenciales máximos y mínimos de recolección se ubican en 177 m³/año, con capacidad de abastecer a 32 personas y 25 m³/año para cinco (5) personas respectivamente. En promedio el sistema tiene una capacidad de captar 79 m³/año, lo suficiente para abastecer a 14 personas.

- Agua atmosférica

La estimación del potencial de captación de agua atmosférica, se determinó a partir de los mismos requerimientos del diseño anterior. De acuerdo con la ecuación (35) se tomaron valores promedios evaluados a partir de los datos obtenidos en la estación meteorológica más cercana (Sevilla, Zona Bananera); como densidad de agua en el aire se utilizó un valor promedio de 0,35 g/m³; 0,2 g/m³ para la mínima; de 0,5 g/m³ para la máxima y una eficiencia de recolección del 5%.



En este caso se multiplica el potencial de recolección por un área de contacto equivalente a la mitad del área superficial del enmallado, es decir $53,6 \text{ m}^2$. Esto se debe a que la simetría de la estructura es axial, otorgando la característica de que el viento siempre va a chocar en un medio de la estructura.

Tabla 34. Estimación del potencial de captación de agua atmosférica para la estructura palafítica

Mes	Media		Máxima		Mínima	
	Captación (L)	Población	Captación (L)	Población	Captación (L)	Población
Ene	11306	24	20099	43	4881	10
Feb	11119	26	19126	46	5057	12
Mar	12813	28	21893	47	5886	13
Abr	9239	21	16672	37	3890	9
May	7914	17	11844	25	4307	9
Jun	6564	15	9378	21	3751	8
Jul	7160	15	11485	25	3589	8
Ago	7286	16	11126	24	3876	8
Sep	6321	14	9031	20	3612	8
Oct	5904	13	8973	19	3158	7
Nov	6321	14	10073	22	3195	7
Dic	9296	20	16151	35	4163	9
ANUAL	101243	18	165849	30	49367	9

Fuente: (IDEAM, 2019); Autores

El valor medio de recolección de precipitación horizontal anual fue de 101 m^3 , capacidad que es suficiente para abastecer a 18 personas. Los valores más favorables, indican un potencial de captación de 166 m^3 suficiente para 30 personas; análogamente la captación mínima se ubica en los $49,4 \text{ m}^3$ para el abastecimiento de nueve (9) personas. La estructura planteada tiene una capacidad de captación de precipitación vertical y horizontal promedio de 180 m^3 suficiente para abastecer a 33 personas durante todo el año, con máximos anuales de $343,3 \text{ m}^3$ para el abastecimiento de 63 personas y mínimos de $74,9 \text{ m}^3$ para 14 personas.

Tabla 35. Dimensionamiento del depósito

Mes	Captación (m3)	Población abastecida	Demanda (m3)	Balance (m3)	Volumen Acumulado
Ene	20.1	43	29.2	-9.0	10.5
Feb	21.2	50	26.3	-5.2	5.3
Mar	26.3	57	29.2	-2.8	2.5
Abr	25.7	57	28.2	-2.5	0.0
May	29.9	64	29.2	0.8	0.8
Jun	25.4	56	28.2	-2.8	-2.0
Jul	41.3	89	29.2	12.2	10.1
Ago	27.7	60	29.2	-1.5	8.7
Sep	31.6	70	28.2	3.4	12.1
Oct	41.0	88	29.2	11.9	23.9
Nov	29.4	65	28.2	1.2	25.1
Dic	23.6	51	29.2	-5.6	19.5
ANUAL	343.3	63	343	-	-

Fuente: Autores



Para evitar el rebose de agua el tanque se dimensionó en $25m^3$ con dimensiones de 1 metro de alto; 5 de largo y 5 de ancho, capaz de almacenar hasta 25 toneladas de agua.

1.2.10. Consideraciones finales

De acuerdo al Centro de Investigación Oceanográfico e Hidrográfico de Colombia (CIOH) la velocidad del viento máxima es de 6,1 en el mes de marzo (CIOH, 2007). A partir de esto, es posible calcular la fuerza (f) opuesta de estabilización que deben soportar los tensores como:

$$f = a * p * cd \quad (53)$$

Donde a, indica el área superficial de la estructura en contacto con el viento; p es la presión del viento en N/m^2 estimada a partir de 0,613 veces la velocidad del viento al cuadrado en m/s ($p=0,613*V^2$) y cd es el coeficiente de arrastre con un valor constante de 0,62 dado su geometría cilíndrica (Baute & Estrada, 2004).

$$f = 53,6m^2 * 0,613(6,1^2)N/m^2 * 0,62 \quad (54)$$

$$f = 758N \quad (55)$$

Indicando de esta forma que el viento ejerce una fuerza de 758 N que debe ser distribuida en los cuatro (4) tensores que dan en dirección al viento.

La estructura palafítica consiste en un sardinel de 2 metros de vía libre, es decir, es una estructura circular de seis metros de diámetro; tiene un área de $113,10m^2$ y un grosor de 20 cm. Todo el modelo de captación se encuentra apoyado sobre nueve (9) pilotes de 5 pulgadas de diámetro cada uno con una longitud de 1,5 metros hasta el lecho de la ciénaga cumpliendo la función de soporte estructural.

2. Elección del sistema de abastecimiento

Para la elección del sistema más adecuado en Nueva Venecia, se tuvo en cuenta la evaluación económica, técnica, social y ecológica de ambos modelos de abastecimiento.

- Dimensión económica

Teniendo en cuenta las características económicas de la zona de estudio, se estimó un presupuesto de acuerdo a las principales inversiones que requiere el desarrollo de estos modelos.



Tabla 36. Comparación presupuestal

Descripción	Unidad	Estructura en reservorio			Estructura palafítica			Fuente
		Cantidad	Valor unitario (COP)	Valor Parcial (COP)	Cantidad	Valor unitario (COP)	Valor Total (COP)	
Mano de Obra								
Personal de elaboración de los materiales	Per.	2	\$ 1,426,000	\$ 2,852,000	2	\$ 1,426,000	\$ 2,852,000	(REP, 2018)
Recolección de material vegetal	mes	8	\$ 828,116	\$ 6,624,928	8.1	\$ 828,116	\$ 6,707,740	(Consultor Salud, 2018)
Transporte hasta Nueva Venecia	viaje	10	\$ 20,000	\$ 200,000	12	\$ 20,000	\$ 240,000	Erolinda Castillo
Capacitaciones	sesión	1	\$ 1,426,000	\$ 1,426,000	2	\$ 1,426,000	\$ 2,852,000	(REP, 2018)
Personal de construcción	Per.	2	\$ 1,426,000	\$ 2,852,000	2	\$ 1,426,000	\$ 2,852,000	(REP, 2018)
Materiales								
PEBD	ton	18.97	\$ 250,000	\$ 4,742,500	19.13	\$ 250,000	\$ 4,782,500	(Banacol, 2019)
Fibra de banano	ton	4.74	\$ 140,000	\$ 663,600	4.78	\$ 140,000	\$ 669,200	(Caracol, 2015)
Malla Raschel 65%	m ²	99.24	\$ 5,336	\$ 529,565	107.2	\$ 5,336	\$ 572,042	(Sodimac, 2019)
Tanque de almacenamiento	tanque	0	\$ -	\$ -	1	\$ 5,400,000	\$ 5,400,000	(Alibaba, 2015)
Otros	ton	0	\$ -	\$ -	9	\$ 28,000	\$ 252,000	Juan Vaca
Grava	kg	48	\$ 200	\$ 9,566	48	\$ 200	\$ 9,566	(Bareño & Figueroa, 2016)
Carbón activado	kg	82	\$ 4,000	\$ 329,867	82	\$ 4,000	\$ 329,867	(Bareño & Figueroa, 2016)
Arcilla	kg	45	\$ 1,000	\$ 44,532	45	\$ 1,000	\$ 44,532	(Bareño & Figueroa, 2016)
Arena sílice	kg	34	\$ 200	\$ 6,786	34	\$ 200	\$ 6,786	(Bareño & Figueroa, 2016)
Equipos								
Tensores	u	16	\$ 4,000	\$ 64,000	8	\$ 4,000	\$ 32,000	(Sodimac, 2019)
Andamios	u	2	\$ 180,000	\$ 360,000	2	\$ 180,000	\$ 360,000	(Sodimac, 2019)
Cuerda de Polipropileno	100 m	5	\$ 13,900	\$ 69,500	5	\$ 13,900	\$ 69,500	(Sodimac, 2019)
Grifería	u	2	\$ 14,000	\$ 28,000	1	\$ 14,000	\$ 14,000	(Sodimac, 2019)
Costos administrativos								
Derechos Municipales	u	1	\$ 364,951	\$ 364,951	1	\$ 364,951	\$ 364,951	(Palacios & Alvarez, 2014)
TOTAL								
SUBTOTAL			\$ 21,167,796		\$ 28,410,684			
A.I.U.			5%		\$ 22,226,186			\$ 29,831,218

Fuente: Autores

El presupuesto se dividió en cuatro categorías: Mano de obra; materiales; equipos y costos administrativos con el fin de calcular el costo estimado de las principales inversiones si se desea realizar el material a gran escala.

A partir de la comparación presupuestal, se establecen los costos generales de la implementación de ambos sistemas en \$22'226.186 para el reservorio central y \$29'831.218 para la estructura palafítica. Esta última, tuvo un costo adicional debido a los pilotes y al tanque de almacenamiento.

Cabe resaltar que, en la categoría de materiales, el PEBD y las fibras naturales de banano presentan un costo representativo que no es válido para este proyecto debido a que los residuos ya cuentan con un centro de acopio en donde no están siendo aprovechados, por ende, no se les asigna un costo de recolección y transporte.

- Dimensión técnica

Para este caso se tuvieron en cuenta las dimensiones de ambos sistemas, dado que se pretende identificar el diseño con menor optimización de espacios y mayor capacidad de captación de agua. A continuación, se presentará una tabla (Tabla 37) las dimensiones generales de cada estructura.

Tabla 37. Dimensionamiento de los modelos

Dimensiones		Estructura en reservorio	Estructura palafítica
Estructura general	Área superficial (m ²)	100	50.3
	Altura total (m)	5	10
Soportes	Longitud (m)	87.05	84.96
	Masa (ton)	0.33	0.28
Bases secundarias	Longitud (m)	105.2	115.45
	Masa (ton)	0.15	0.19
Soportes complementarios	Longitud (m)	258.27	214.79
	Masa (ton)	0.43	0.36
Embudo de recolección	Área superficial (m ²)	101.19	102.38
	Masa (ton)	22.77	23.04
Malla Raschel	Área superficial (m ²)	99.24	107.2
	Masa (ton)	0.0055	0.006
Filtro	Masa (ton)	0.21	0.21
Masa Total (ton)		26.16	28.08
PEBD	Tiempo de recolección (mes)	0.54	0.55
	Masa (ton)	18.97	19.13
VA	Tiempo de recolección (mes)	1.6	1.5
	Masa (ton)	2	1.87
RF	Tiempo de recolección (mes)	8	8.1
	Masa (ton)	24.98	25.27
Agua Lluvia	Máxima (m ³ /año)	353	177
	Mínima (m ³ /año)	51	25
	Media (m ³ /año)	157	79
Agua Atmosférica	Máxima (m ³ /año)	77	166
	Mínima (m ³ /año)	23	49
	Media (m ³ /año)	47	101

Fuente: Autores

La estructura en el reservorio ocupa mayor área superficial, lo que aumenta su capacidad de captación de agua lluvia; su altura es de solo 5 metros y tiene una masa de 26,16 ton que recae totalmente en el reservorio de concreto. Esto es una ventaja técnica debido a que la estructura de soporte ya se

encuentra definida, de no ser así, la estructura pasaría a ser el modelo palafítico aumentando en 5m su altura y generando mayores inversiones tanto en costos como en material.

De acuerdo a las bases secundarias y estructuras de soportes, no se aprecian diferencias significativas dado que los soportes, laminados del embudo de recolección y demás componentes poseen un área superficial similar. El área de captación de agua atmosférica es parecida en ambas estructuras, sin embargo, la geometría de cada modelo es determinante en la disponibilidad del recurso hídrico ya que la estructura del diseño palafítico asciende hasta un 89 m³ en la adquisición del recurso hídrico.

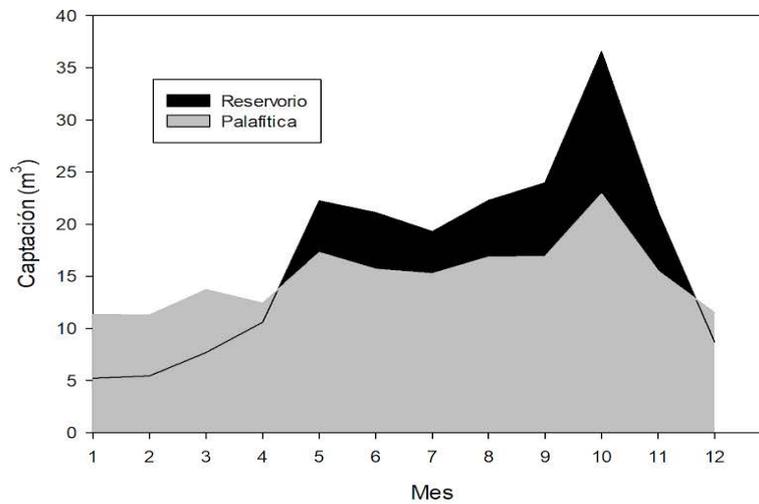


Figura 97. Captación mensual de ambos modelos

Fuente: Autores

Respecto a la Figura 97, es posible afirmar que el sistema palafítico en épocas de sequía (enero-marzo) tiene un mayor potencial de abastecimiento, dado su capacidad de captar precipitación horizontal. Esto se hace evidente cuando se observan las precipitaciones mensuales en la región (Figura 98).

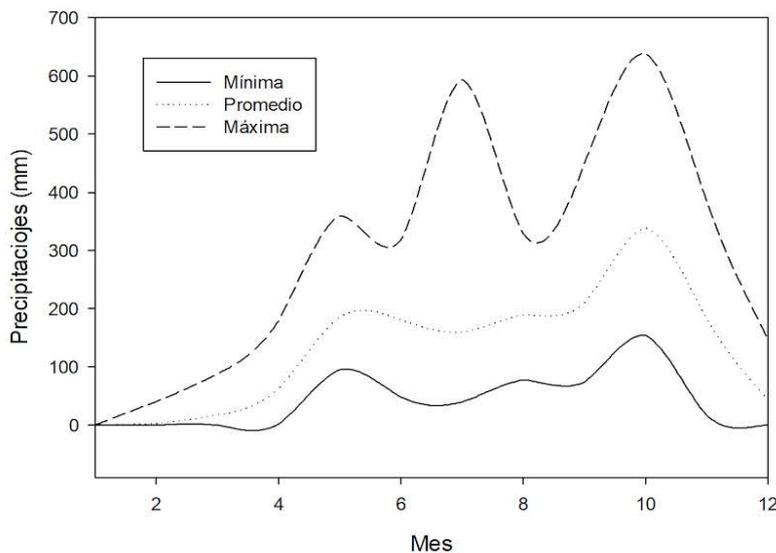


Figura 98. Precipitación mensual de Sevilla, Zona Bananera

Fuente: Autores



Para la elaboración de los materiales, se propone aprovechar las materias primas producidas en la zona bananera. La recolección de las fibras vegetales se puede realizar directamente en la finca evaluada de 2,5 hectáreas (Guacamayal, Zona Bananera), por otra parte, el centro de acopio actualmente cumple las labores de fundición de PEBD en Sevilla. Allí mismo se tiene un terreno destinado para el almacenamiento del Polímero, este lugar podría funcionar para el pretratamiento de las fibras y la elaboración del material. Se maneja una máquina trituradora que funcionaria para el pretratamiento de las fibras, el centro de acopio cuenta con moldes laminares y cilíndricos de 3 pulgadas de diámetro, con adaptaciones básicas en su funcionamiento (cambio de boquilla) se puede modificar a diámetros menores para piezas más específicas de los modelos planteados.



Figura 99. Precipitación mensual de Sevilla, Zona Bananera
Fuente: Autores

- Dimensión social

La estructura palafítica al localizarse a 200 metros del corregimiento de Nueva Venecia, restringe la posibilidad de abastecerse de agua potable, dado que no todos tienen embarcaciones a motor que puedan salir fácilmente del corregimiento. Aun así, a partir de las entrevistas y encuestas desarrolladas en el capítulo III, es válido afirmar que se cuenta con apoyo comunitario dado la alta aceptabilidad del proyecto en la población (65% a favor). Para afianzar los sistemas de abastecimiento en el corregimiento se planteó una reunión de capacitación para así impedir que se afecten las dinámicas sociales alrededor de la construcción. Esto se debe a que no es socialmente aceptado que una persona externa a la comunidad (no nacido en Nueva Venecia), plantee proyectos constructivos.

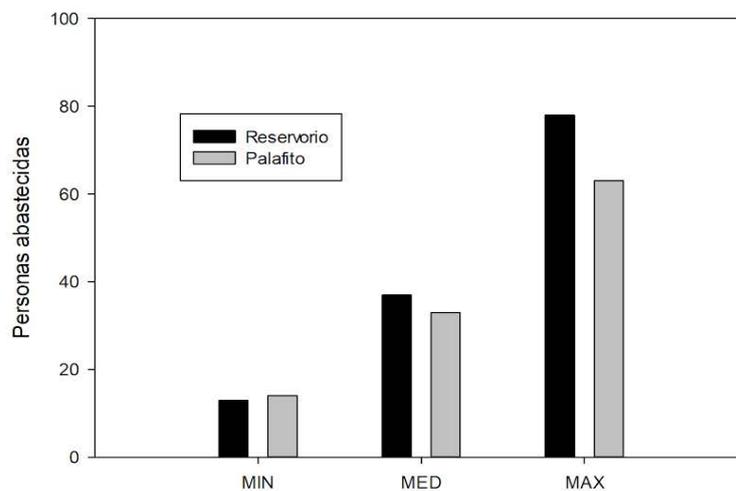


Figura 100. Personas abastecidas con los dos modelos condiciones de captación mínima, máxima y media.
Fuente: Autores



De acuerdo al Esquema de Ordenamiento Territorial (2016) Nueva Venecia cuenta con 3.440 habitantes, cifra aproximada debido a que no se cuenta con un censo gubernamental. En ese orden de ideas, en el mejor de los casos se llegaría a abastecer al 2,26% de la población. Por ende, si este se plantea como el único modelo de abastecimiento de Nueva Venecia, se tendrían que elaborar 44 estructuras similares.

El agua captada no es suficiente para abastecer una comunidad de gran tamaño, la población máxima abastecida fue de 78 personas para la estructura planteada en el reservorio de concreto. Este valor representa la población máxima que se puede abastecer constantemente, en algunos meses se tendrá oferta de agua para más personas, sin embargo, este exceso será almacenado para los meses de déficit hídrico. Este proyecto puede generar conflictos alrededor del agua, debido a que no se plantea como una estructura privada si no comunitaria. El control debe ser estricto para suplir la demanda anual de los usuarios, teniendo en cuenta que solo es para una parte pequeña de la población.

- Dimensión ecológica

Para la interpretación de la dimensión ecológica, se procedió a realizar una matriz comparativa de acuerdo al método de jerarquización de impactos ambientales de Leopold. Se evaluaron de acuerdo a su índole (+ impactos positivos y - impactos negativos) y su representatividad en el proyecto, en donde 0 es poco representativo y 9 es muy representativo.

Tabla 38. Matriz de impactos ambientales

Factores Ambientales			Estructura en reservorio								Estructura palafítica								
			Procesos					TOTAL			Procesos					TOTAL			
			Recolección	Elaboración	Transporte	Construcción	Operación	Promedios negativos	Impactos por subcomponentes	Impacto por componentes	TOTAL	Recolección	Elaboración	Transporte	Construcción	Operación	Promedios negativos	Impactos por subcomponentes	Impacto por componentes
Abiótico	Suelo	Calidad del suelo	5	-3	0	0	0	0	0	5	-3	0	0	0	0	0	0	0	0
		Sedimentos	3	0	0	-4	0	0	0	0	3	0	0	-4	0	0	0	0	0
	Agua	Calidad del agua	0	0	-4	-5	3	-1	-1	0	0	-4	-5	2	-1	-2	-2	-2	
		Vertimientos	0	-2	-4	-5	3	-2	-2	0	-2	-4	-5	2	-2	-2	-2	-2	
	Atmosfera	Calidad del aire	0	-5	-4	0	0	-2	-3	0	-5	-4	0	0	-2	-3	-3	-3	
		Ruido	0	-9	-8	-3	0	-4	-3	0	-9	-8	-3	0	-4	-3	-3	-3	
		Emisiones	4	-5	-8	0	0	-2	-2	4	-5	-8	0	0	-2	-2	-2	-2	
Paisaje	Impacto paisajístico	0	0	0	-6	-6	-2	-2	0	0	0	-9	-9	-4	-4	-4	-4		
Biótico	Fauna	Migración de aves	0	0	-3	-6	-6	-3	-3	0	0	-3	-9	-9	-4	-4	-4	-4	
		Comunidades ícticas	0	0	-5	-3	-3	-2	-1	0	0	-5	-6	-6	-3	-3	-3	-3	
	Flora	Comunidades vegetales	3	0	0	0	0	1	1	3	0	0	0	0	1	1	1	1	
TOTAL	Promedios negativos		1	-2	-3	-3	-1	-1	-1	1	-2	-3	-4	-2	-2	-2	-2	-2	
	Impactos por componentes		-2					-2			-2								

Fuente: Autores



De acuerdo a la evaluación ambiental, es posible identificar un impacto total equivalente en ambas estructuras. Sin embargo, el modelo palafítico acarrea mayor representatividad en los componentes paisajísticos y biológico. Los mayores impactos por etapa están dados en la construcción de ambas estructuras. A continuación, se ahondará en cada uno de los componentes evaluados.

El componente suelo se caracteriza por presentar impactos nulos. Se ve afectado negativamente desde la calidad del suelo en las etapas de elaboración de materiales y construcción de las estructuras; desde la elaboración, el uso de los suelos de la zona de acopio es netamente de almacenamiento de materiales, lo que impide que sean utilizados con otros fines como agrícolas o de preservación; en cuanto a la construcción se resaltan los posibles residuos sólidos derivados de esta. Se ponderaron los mismos puntajes para ambas estructuras dadas sus similitudes en términos de requerimiento de material.

El impacto a nivel de la recolección es positivo debido a que se aprovecharían materiales que se almacenan en los suelos bananeros, propiciando el lavado de nutrientes y cambiando sus características fisicoquímicas especialmente en término materia orgánica, reduciéndola a un 2% en la zona bananera debido a la acumulación de los sacos de PEBD (Meneses, Agaton, Gutierrez, Mendieta, & Lopez, 2010). Su recolección podría mejorar las dinámicas poblacionales de las comunidades vegetales de la zona.

En cuanto al componente hídrico, se pondero un porcentaje negativo mínimo (-2) para ambos casos. La etapa de elaboración de materiales, requiere agua para el enfriamiento de la maquinaria utilizada en la zona de acopio. A nivel de transporte hasta Nueva Venecia, se reconoció el impacto causado por los vertimientos de combustible generados al usar diésel y gasolina para abastecer las embarcaciones (Jimenes, 2018). La etapa de construcción presentó los mayores impactos en este componente ya que dadas las condiciones de Nueva Venecia, se aumenta la posibilidad de que los residuos de construcción sean depositados en la ciénaga.

Los impactos positivos se evaluaron en la etapa de operación ya que, al implementar este mecanismo, se reduce la cantidad de lodos que son producidos a raíz del tratamiento de coagulación con sulfato de aluminio. De la misma manera se aporta a la calidad de agua de consumo de la población de Nueva Venecia.

Desde el punto de vista atmosférico, los posibles impactos evaluados afectan principalmente a nivel de ruido en las etapas de elaboración de materiales y transporte. En la zona de acopio, la materia prima pasa por un proceso de trituración para luego ser fundida con otros polímeros a altas temperaturas (200°C) aumentando así la contaminación auditiva. En cuanto al transporte de materiales, las lanchas generan ruido ambiental que impacta directamente en el ecosistema cenagoso, pudiendo llegar a alterar la reproducción y el comportamiento de algunas comunidades ícticas, así como el ruido ocupacional que puede afectar a los conductores de las lanchas (Houghton, Giles, Hanson, Emmons, & Hogan, 2015). La fundición de los materiales puede generar material particulado dependiendo del componente utilizado, así como polvos metálicos y emisiones toxicas atribuidas a los aditivos plásticos del PEBD (Rodríguez, Chávez, de Roshardt, & Álvarez, 2017).

De acuerdo con Palacios y Álvarez (2014), los mayores impactos generados en la captación de agua atmosférica, esta atribuidos a la modificación paisajística. En ese orden de ideas, ambas estructuras conllevan impactos negativos en este componente, sin embargo, el modelo palafítico es más alto y está ubicado en una zona con ausencia de viviendas, por ende, su representatividad es mayor.



El impacto a las comunidades biológicas está dado hacia las aves migratorias y el recurso pesquero. La primera categoría (aves migratorias) siendo de mayor importancia debido a que se presenta una interrupción de los corredores biológicos en la Ciénaga Grande de Santa Marta. Se resalta además que la ecorregión es un sitio de importancia global para aves migratorias, lo cual puede agudizar su impacto. En cuanto a comunidades ícticas, la ocupación de lugares de la ciénaga puede causar un desplazamiento a pequeña escala de comunidades de peces y especies bentónicas.

De acuerdo con la evaluación de las dimensiones anteriores, fue posible hacer una comparación entre los dos sistemas de abastecimiento. A nivel económico, se resalta una favorabilidad del modelo del reservorio, dado su menor costo en la estructura de soporte debido a que el reservorio ya está construido; análogamente la estructura palafítica requiere de cimientos nuevos. Desde el punto de vista técnico, el uso de materiales fue muy similar en ambas estructuras, sin embargo, la captación fue mayor en el caso del reservorio, aunque se puede potenciar modificando su geometría.

En cuanto a impactos sociales, el número de personas abastecidas es mucho mayor en el reservorio y se reconoce además la importante participación que ofrece la recolección de agua atmosférica en el abastecimiento de Nueva Venecia, siendo la estructura palafítica mas apta para la recolección de este mecanismo. Ambas estructuras son susceptibles de modificar los estilos de vida de los habitantes de Nueva Venecia alrededor del recurso hídrico. Finalmente, a nivel ambiental, se reconocen impactos poco significativos en el ecosistema; ninguna de las estructuras planteadas requiere de mecanismos de apoyo para su funcionamiento, son edificaciones aisladas y poco invasiva en el ecosistema cenagoso. A partir de este análisis, se define la estructura del reservorio como la más apta dadas las condiciones actuales de Nueva Venecia (Figura 101).



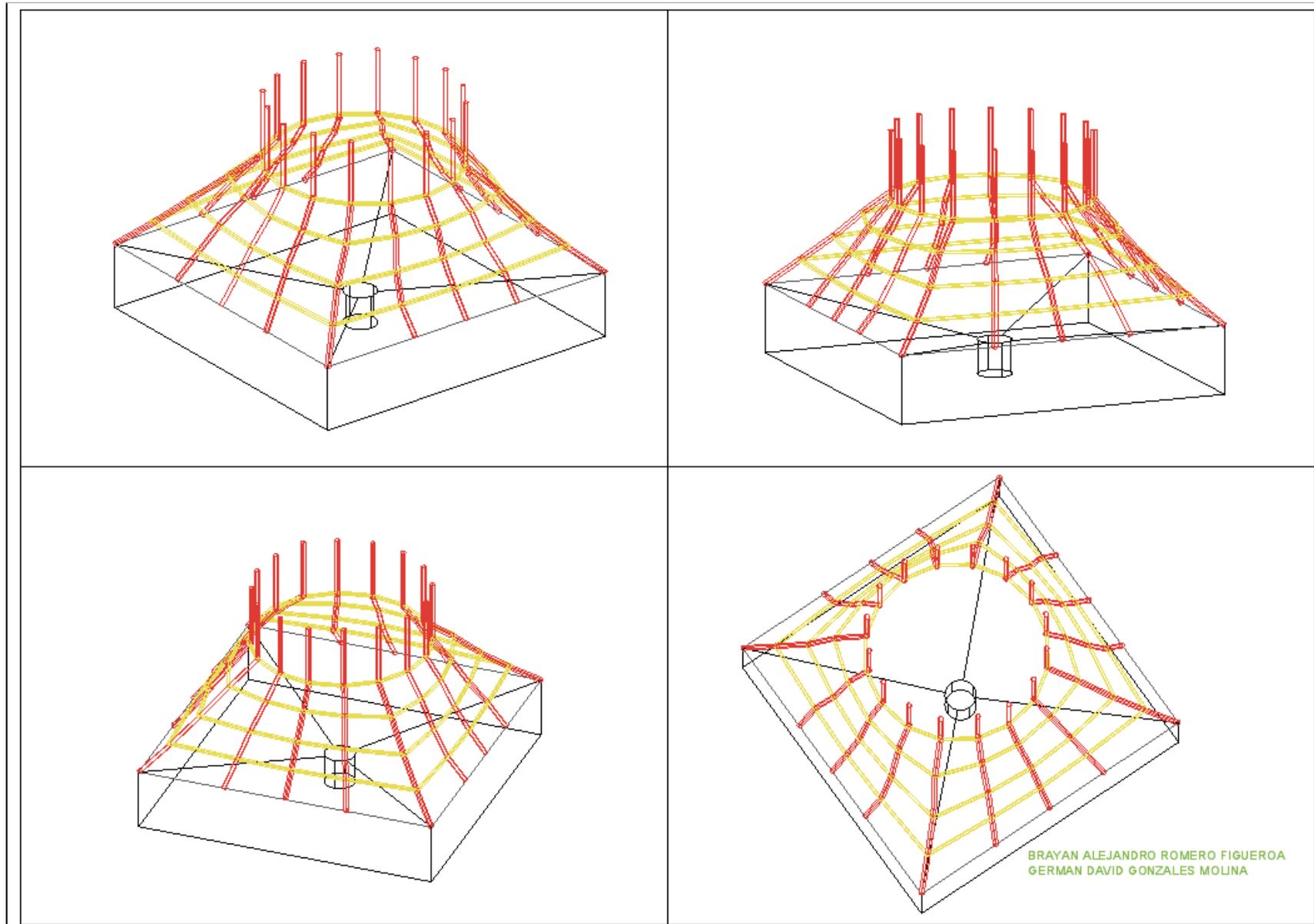


Figura 101. Diseño 3D de la estructura en el reservorio elegida para el abastecimiento de Nueva Venecia.

Fuente: Autores

CAPÍTULO VI. CONSIDERACIONES FINALES

I. Conclusiones

A partir del diagnóstico socio-ambiental de Nueva Venecia (capítulo III), se concluye que la inadecuada calidad del agua de consumo repercute en las dinámicas poblacionales del corregimiento: agudiza los problemas de salud en la población enmarcados en la falta de servicios médicos y la insipiente gestión del centro de salud local; genera conflictos sociales como la guerra del agua, propiciando la existencia de inequidades en la comunidad y aumenta de forma considerable la inversión diaria por habitante en un recurso de mala calidad que debería estar asegurado como derecho humano fundamental.

La ecorregión de la Ciénaga Grande de Santa Marta (CGSM) es un complejo cenagoso interconectado ecológicamente, que refleja como los impactos puntuales pueden afectar directamente las dinámicas socio ambientales en toda la zona. En este caso las actividades agrícolas en las márgenes de los cuerpos cenagosos llegan a afectar los métodos de abastecimiento de agua potable en las comunidades palafíticas, obligándolas a buscar nuevas fuentes de captación.

La fuente de abastecimiento actual es el caño Aguas Negras, cuerpo superficial que conecta el río Magdalena con la CGSM. De acuerdo con la evaluación y comparación de algunos parámetros de calidad del agua presentes en la resolución 2115 de 2007, es posible afirmar que el agua que suple a Nueva Venecia, sobrepasa los límites establecidos para el contenido de fosfatos y pH, además de presentar altos niveles de sólidos suspendidos disueltos que demuestran la presencia de compuestos orgánicos derivados de actividades industriales en tierra firme.

Se identificaron cuatro mecanismos de abastecimiento actual en Nueva Venecia: Agua Lluvia, agua de Bongoducto, agua embotellada comercial y agua captada desde la ciénaga de Pajarales; sin embargo, todos presentan factores insostenibles ya sea por la inadecuada calidad del recurso o por el elevado costo de adquisición, en el caso del agua lluvia debido a la necesidad de modificar la vivienda tradicional palafítica. De la misma manera se han propuesto proyectos de mejoramiento hídrico como la adecuación de filtros y plantas de tratamiento a gran escala, que no han tenido éxito dado que no consideran las características comunitarias particulares y no parten desde el entendimiento de los comportamientos sociales alrededor del agua.

De acuerdo con la caracterización de los materiales (capítulo IV), es posible concluir que los residuos producidos en la Zona Bananera son susceptibles de aprovechamiento, en este caso se planteó una combinación entre el polietileno de baja densidad (PEBD) y tres fibras de la planta de banano *musa AAA Williams* cultivada a gran escala en Guacamayal, Zona Bananera. Las combinaciones más adecuadas para su implementación en infraestructuras de captación de agua resultaron ser las proporciones 80/20 entre el polímero y los tejidos del vástago y de las hojas del banano (PEBD+VA y PEBD+RF), dada su adecuada adhesión interfacial y su bajo porcentaje de hinchamiento.

En estas combinaciones es posible concluir que el PEBD reduce la cantidad de agua captada por la fibra vegetal de acuerdo a la composición porcentual del polímero, especialmente en PEBD+RF 80/20, pasando de una absorción del 401% en peso hasta 3,9% combinado con el polímero, debido en gran medida a la facilidad de las hojas del banano para adecuarse a estructuras laminares. Por otra parte, la interfase generada en la combinación de los materiales es fuerte en cualquier tejido de la planta y se debe a la composición química similar con altos contenidos de lignina y hemicelulosa.

Las pruebas de corrosión salina no demostraron cambios significativos en la estructura del material a las 4 semanas de evaluación, lo que indica que este puede ser usado en condiciones normales para ecosistemas salobres.

Dadas las características de los biocompositos elaborados, se diseñó una propuesta que busca mejorar el sistema de abastecimiento hídrico en la comunidad (capítulo V). Se establecieron dos (2) diseños a partir de los requerimientos técnicos y sociales identificados en el diagnóstico inicial (capítulo III). Posteriormente se evaluaron bajo distintas condiciones en lo técnico, social, económico y ecológico para determinar su aplicabilidad en la zona de estudio. Es posible concluir que el modelo más acertado para Nueva Venecia es la implementación de un mecanismo de captación de precipitación horizontal y vertical construido sobre el reservorio de concreto actualmente abandonado.

Se planteó como mejor alternativa debido a su menor costo económico, menor requerimiento de material y mayor potencial de captación hídrica. Sin embargo, una recolección basada en la estructura palafítica a las afueras del corregimiento no se descarta como mecanismo complementario porque las diferencias en impactos no fueron representativas.

La estructura elegida (capítulo V) tiene un potencial de abastecimiento de hasta 78 personas con una demanda contante de 15 L/hab*día durante todo el año. Su captación de agua se complementa en las épocas secas mediante el mecanismo de aprovechamiento de precipitación horizontal; y en las épocas lluviosas es capaz de captar hasta 63 m³ en un mes dependiendo de las condiciones meteorológicas de la ciénaga.

II. Recomendaciones

- De acuerdo con el diagnóstico socio-ambiental de Nueva Venecia, se recomienda profundizar en el entendimiento de las dinámicas poblacionales alrededor del recurso hídrico y estandarizar las unidades de medición usadas por la comunidad.
- Es recomendado realizar plenarias de socialización del proyecto en una población más representativa, con el fin de obtener posibles mejoras a la propuesta.
- Se requiere ampliar las investigaciones científicas y académicas relacionadas al poblado palafítico de Nueva Venecia, debido a que la información en muchos casos es escasa, limitando el desarrollo de este tipo de proyectos.
- Se sugiere realizar un análisis a profundidad in situ de los parámetros de calidad del agua, debido a que no existe información actualizada y para el desarrollo de este proyecto se presentaron limitaciones en la medición de algunos parámetros necesarios para un diagnóstico más completo.
- Respecto a la elaboración de los materiales, es recomendable tener en cuenta el direccionamiento de las fibras, especialmente en las estructuras laminares, ya que puede intervenir directamente en el rendimiento del biocomposito.
- Es necesario mejorar y estandarizar el proceso de elaboración de las probetas, debido a que es común la presencia de burbujas de aire a nivel micro estructural que pueden modificar el rendimiento del biocomposito.
- Se recomienda evaluar la mezcla de PEBD y fibras de banano en diferentes composiciones porcentuales, para realizar una comparación más específica. Así como reportar la capacidad de degradación del material y sus puntos críticos en el ciclo de vida.
- Teniendo en cuenta las limitaciones relacionadas al diseño del sistema de abastecimiento, es necesario la puesta en marcha de estudios meteorológicos que brinden información más



acertada sobre la zona de estudio, especialmente enfocados al potencial de captación de agua atmosférica.

- En caso de profundizar en esta propuesta, se recomienda el diseño de estructuras con simetría axial que incrementen el área de contacto con la masa de aire húmedo, limitante en la estructura elegida dado su geometría cuadrada que reduce el potencial de captación.
- De manera general, se recomienda plantear y ejecutar proyectos en la comunidad enfocados a las mejoras en otros factores que intervienen en la calidad de vida, como el servicio eléctrico.



Bibliografía

- Vivas, A. P. (2018). *Investigación y valoración de Nueva Venecia, Ciénaga Grande de Santa Marta*. Obtenido de Pontificia Universidad Javeriana: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/35004/DOCUMENTO%20final.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Carvajal, L. G. (2011). *Estimación del consumo básico de agua potable en Colombia*. Obtenido de Universidad del Valle, Facultad de Ciencias Sociales y Economía: <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/3682/4/CB-0449498.pdf>
- Invemar. (2017). *Diagnóstico de la calidad de las aguas marinas-costeras del departamento del Magdalena*. Obtenido de Invemar: http://cinto.invemar.org.co/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/d6651def-8e27-4c16-bad6-78aa87876dbd/Diagnostico%20de%20la%20Calidad%20de%20las%20Aguas%20Marino-Costeras%20del%20Departamento%20del%20Magdalena?ticket=TICKET_9522972b6b82bffb13dee3896dff70b33739bb66
- OMS. (2017). Comunicado de prensa. *2100 millones de personas carecen de agua potable en el hogar y más del doble no disponen de saneamiento seguro*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud. Obtenido de Organización Mundial de la Salud.
- ONU. (2016). *Agenda 2030 y los Objetivos del Desarrollo Sostenibles. Una oportunidad para américa latina y el caribe*. Obtenido de Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo : <http://www.sela.org/media/2262361/agenda-2030-y-los-objetivos-de-desarrollo-sostenible.pdf>
- REDCAM. (2011). *Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y en el Pacífico*. Obtenido de Invemar: http://www.invemar.org.co/documents/10182/14479/Informe_REDCAM_2011.pdf
- Aguilera, M. (2011). *Habitantes del Agua: El complejo lagunar de la Ciénaga Grande de Santa Marta*. Obtenido de EconPapers: <http://www.banrep.gov.co/es/contenidos/publicacion/habitantes-del-agua-complejo-lagunar-ci-naga-grande-santa-marta>
- Jensen Gómez, J. (2014). *Vivienda en hábitats lacustres*. Obtenido de Universidad Nacional, Sede Manizales: <http://www.bdigital.unal.edu.co/45789/>
- Ministerio de Salud y protección Social. (2015). *Informe nacional de calidad del agua para consumo humano, INCA 2015*. Obtenido de MinSalud.
- Betancourt, J. M., & Triana, G. R. (2005). *Estudio de los procesos relacionados con la presencia de plaguicidas organoclorados en la Ciénaga Grande de Santa Marta*. Obtenido de Invemar: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0122-97612005000100006&lng=en&nrm=iso
- INS. (2016). *Estado de la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en Colombia*. Obtenido de Instituto Nacional de Salud: <https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVICAP/Informe%20Nacional%20de%20Calidad%20del%20Agua%202016.pdf>
- Acero, A. P., & Polanco, A. F. (2017). *Biodiversidad íctica de los mares colombianos: riqueza amenazada*. Obtenido de Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0370-39082017000200200&script=sci_abstract&tlng=es
- Santos, R. (2012). *Colombia: Banacol*. Obtenido de Comisión Intereclesial de Justicia y Paz.
- Meneses, M. M., Agaton, L. L., Gutierrez, L. M., Mendieta, L. G., & Lopez, J. B. (2010). *Aprovechamiento industrial de residuos de cosecha y poscosecha del plátano en el departamento de caldas*. Obtenido de Revista Educación en Ingeniería: <https://www.educacioneningenieria.org/index.php/edi/article/view/14>



- Macias, H. H. (2010). *Descripción de la agrocadena del plátano en Colombia*. Obtenido de Universidad La Salle, Facultad de Ciencias Agropecuarias: http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/18829/12072020_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Martinez, A. R. (2005). *Ciénaga Grande de Santa Marta: Un modelo de gestión interinstitucional para su recuperación*. Obtenido de Corpamag: <http://www.spaw-palisting.org/uploads/files/ad85a916243db9d56ad045bb90c493c32acc2823.pdf>
- Guevara, L. T., Schlüter, A., & Lopez, M. C. (2016). *Collective action in a tropical estuarine lagoon: adapting Ostrom's SESs framework to Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia*. Obtenido de International Journal of the Commons: <https://www.thecommonsjournal.org/articles/10.18352/ijc.623/>
- Ramsar. (2017). *Sitio Ramsar Sistema Delta Estuarino del Rio Magdalena Ciénaga Grande de Santa Marta*. Obtenido de Convention on wetlands: https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/ram82_cienaga_grande_s.pdf
- República de Colombia. (1991). *Constitución política de Colombia*. Obtenido de Gobierno de la república.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2019). *Normativa Ambiental*. Obtenido de MinAmbiente: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/normativa/decretos>
- Barraza, L., Montiel, R., & De la Cruz, T. (2016). *La CGSM desde la perspectiva de Prociénaga*. Obtenido de Prociénaga: https://www.researchgate.net/publication/305771415_La_CGSM_desde_la_perspectiva_de_Pro-Cienaga_-_Paper
- Abascal, I. M., Rejon, M. Z., Toledo, F. E., Ibarra, G. L., Lopez, A. S., & Valdez, A. T. (2016). *Functional and Strcutural Food Web Comparison of Terminos Lagoon, México in Three Periods (1980, 1998 and 2011)*. Obtenido de Estuaries and Coasts : https://www.researchgate.net/publication/285547364_Functional_and_Structural_Food_Web_Comparison_of_Terminos_Lagoon_Mexico_in_Three_Periods_1980_1998_and_2011
- ONU. (2002). *Conferencia de las naiones unidas sobre el medio ambiente y el desarrollo*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas: <https://www.un.org/spanish/conferences/wssd/unced.html>
- Invemar. (2014). *Monitoreo de las condiciones ambientales y los cambios estructurales y funcionales de las comunidades vegetales y de los recursos pesqueros durante la rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta*. Obtenido de Invemar: <http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/Informe%20Tecnico%20Final%20Cienaga%20Grande%20de%20Santa%20Marta%202014.pdf>
- Jaramillo, D. L., & Guaraca, F. E. (2010). *Estudios y diseños definitivos del sistema de agua, potable de la comunidad de Tutucán, canton Paute, Provincia del Azuay*. Obtenido de Universidad de cuenca. Facultad de Ingenieria: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/725>
- Santiago, O., Marin, G., & Fernandez, R. (2003). *Los composites. Características y aplicaciones en la edificación*. Obtenido de Informes de la construcción: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/568>
- Hue, F. G., & Bosch, C. C. (2004). *Los materiales innovadores, composites reciclados. Una herramienta de futuro para el proyectista constructor*. Obtenido de Revista de obras públicas: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1038229>
- Mora, W. J., Ramon, B. A., & Valencia, F. R. (2013). *Desarrollo de Materiales Biocompuestos Reforzados con Fibras Naturales Colombianas*. Obtenido de Universidad de Pamplona : http://revistas.unipamplona.edu.co/ojs_viceinves/index.php/RA/article/view/507



- Aznarez, F. C. (2012). *Análisis metodológico, diseño y cálculo de composites en la rehabilitación del patrimonio histórico arquitectónico del bajo Guadalquivir*. Obtenido de Deposito de investigación. Universidad de Sevilla: <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/57285>
- González Smith, M. P. (2013). *Hábitat de Bordemar. Gestación, evolución y perspectivas turísticas del patrimonio popular palafítico en el Archipiélago de Chiloé*. Obtenido de Universidad de valladolia: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/4957>
- Tembleque, L. R., Buroni, F., & Sáez, A. (2013). *Numerical Study of Polymer Composites in Contact*. Obtenido de Computer Modeling in Engineering and Sciences: https://www.researchgate.net/publication/286324697_Numerical_Study_of_Polymer_Composites_in_Contact
- Gaitan, A., Fonthal, G., & Calderon, H. A. (2016). *Fabricación y propiedades físicas de aglomerados de Pennisetum purpureum schum, Philodendron longirrhizum y Musa acuminata*. Obtenido de Ciencias técnicas agropecuarias: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2071-00542016000100001
- Rodriguez, L., Sarache, W., & Orrego, C. (2014). *Compuestos de Poliéster Reforzados con Fibra de Plátano/Banano (Musa paradisiaca) Modificada Químicamente. Comparación con Fibra de Vidrio y Fique (Furcraea andina)*. Obtenido de Revista la serena: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642014000500005&script=sci_arttext&tlng=e
- Solvay. (2015). *Epiclorhidrina*. Obtenido de Solvay: https://www.solvay.us/en/binaries/P232-USA_SP-237952.pdf
- Plainsur. (2006). *Resina ortosftálica*. Obtenido de Supima: <http://www.supima.es/recursos/archivos/dd8803d00645a9c719598dbaf5c0e8ea.pdf>
- Winkler. (2007). *Acetona*. Obtenido de LCO: <http://www.lco.cl/operations/safety-and-health/technical-info/safety-data-sheets/Ficha%20seguridad%20Acetona.pdf>
- Burgos, A. C., & Cuervo, I. M. (2010). *Fibra de guadua como refuerzo de matrices poliméricas*. Obtenido de Revista Dyna: <http://www.bdigital.unal.edu.co/19792/>
- Rodriguez, L., Fanguero, R., & Orrego, C. (2015). *Efecto de tratamientos químicos y de plasma DBD en las propiedades de fibras del seudotallo de plátano*. Obtenido de Revista latinoamericana de metalurgia y materiales: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0255-69522015000200016&script=sci_arttext&tlng=pt
- Osorio, J. M., Baracaldo, R. R., & Florez, J. O. (2012). *The influence of alkali treatment on banana fibre's mechanical properties*. Obtenido de Ingenieria de investigación: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56092012000100015
- Acero, R. V., & Mahecha, J. L. (2016). *Habitát resiliente en el corregimiento de Tasajeras*. Obtenido de Universidad de La Salle: http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/18999/70121042_2016.pdf?sequence=3
- Espinosa, L., Gomez, M., Cadavid, B., Acosta, J., Vivas, J., Garay, J., & Marin, B. (2005). *Monitoreo de la condiciones ambientales y los cambios estructurales y funcionales de las comunidades vegetales y de los recursos pesqueros durante la rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta*. Obtenido de Invemar.
- Granados, M. D., Camacho, L., & Maestre, A. (2001). *Modelación de Balances Hídricos de ciénagas Fluviales y Costeras Colombianas*. Obtenido de Universidad de los Andes: <https://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/view/542>
- Sarmiento, J. (2015). *Territorio sin Estado. El caso de los pueblos*. Obtenido de Revista de derecho: <https://www.redalyc.org/html/851/85138494005/>
- Cameo. (1992). *PPDDE*. Obtenido de Cameo: <https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/20095>



- European Chemical Agency . (2007). *Heptacloro*. Obtenido de Gobierno de España :
<http://www.prtr-es.es/Heptacloro,15628,11,2007.html>
- Vademecum. (2015). *Lindano*. Obtenido de vademecum: <https://www.vademecum.es/principios-activos-lindano-p03ab02>
- Pediamecum. (2015). *Peróxido de Benzoilo*. Obtenido de pediamecum: http://pediamecum.es/wp-content/farmacos/Peroxido_de_benzoilo.pdf
- Bernal, G., & Betancur, J. (1996). *Sedimentology of coastal lagoons: ciénaga Grande de Santa Marta and ciénaga de Pajarales*. Obtenido de Invemar:
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-97611996000100003
- Fazeli, M., Florez, J. P., & Simão, R. A. (2019). *Improvement in adhesion of cellulose fibers to the thermoplastic starch matrix by plasma treatment modification*. Obtenido de Engineering composites part B: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359836818327793>
- Gonzalez, F. R., Ramsay, B., & Favis, B. (2003). *High performance LDPE/thermoplastic starch blends: a sustainable alternative to pure polyethylene*. Obtenido de Polymero:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0032386102009072>
- Bau, M. P. (2016). *Caracterización química de la biomasa procedente de las hojas, pseudotallo, raquis y pseudopeciolo de la planta de banano y su relación con el poder calorífico*. Obtenido de Facultad de Ciencias Químicas:
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/26232/1/TESIS.pdf>
- Cano, N. G., & Martínez, N. M. (2015). *Caracterización de residuos de banano (pseudotallo y hojas) mediante análisis termogravimétrico para uso potencial como biocombustible sólido*. Obtenido de Universidad de Medellín. Facultad de Ingeniería:
https://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/2167/TG_IA_3.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Sanjuan, L. D. (2011). *La observación*. Obtenido de Universidad Autonoma de México:
http://www.psicologia.unam.mx/documentos/pdf/publicaciones/La_observacion_Lidia_Diaz_Sanjuan_Texto_Apoyo_Didactico_Metodo_Clinico_3_Sem.pdf
- Bertomeu, P. F. (2010). *La entrevista*. Obtenido de Universitat de Barcelona:
<http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/99003/1/entrevista%20pf.pdf>
- Bravo, L. D., García, U. T., Hernandez, M. M., & Ruiz, M. V. (2013). *La entrevista, recurso flexible y dinámico*. Obtenido de Universidad Autonoma de México:
http://riem.facmed.unam.mx/sites/all/archivos/V2Num03/09_MI_LA%20_ENTREVISTA.pdf
- Gnecco, N. (2018). *Descubriendo a Nueva Venecia*. Obtenido de El tiempo :
<http://blogs.eltiempo.com/natalia-gnecco-blog/2018/05/10/descubriendo-nueva-venecia/>
- Gomez, E. G. (1993). *Tratamientos anaerobios de las aguas residuales domésticas*. Obtenido de Revista de ingeniería :
<http://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/download/627/810>
- Invemar. (2007). *Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua del IDEAM*. Obtenido de Invemar:
<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021172/Protocoloparaelmonitoreoyseguimientodelagua.pdf>
- Merck. (2019). *Mcolortest* . Obtenido de Merck:
http://www.merckmillipore.com/CO/es/products/analytics-sample-prep/test-kits-and-photometric-methods/visual-tests-for-semi-quantitative-analyses/colorimetric-test-kits/mquant-titrimetric-and-colorimetric-methods/5Eib.qB.nDwAAAE_ogh3.Lxj,nav?ReferrerURL=https%3A%2F%2Fwww.gog-info.com%2F



- Sepulveda, L. J. (2014). *Elaboración de un material biocompuesto a partir de la fibra de plátano*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia. sede Manizales: <http://bdigital.unal.edu.co/47022/1/8911502.2014.pdf>
- Molina, L., & Vasques, F. (2014). *Comparacion de la efectividad del proceso de secado al vacío con respecto al secado a la estufa para la deshidratación de frutas*. Obtenido de Universidad Rafael Urdaneta: <http://200.35.84.131/portal/bases/marc/texto/2101-14-07446.pdf>
- Restrepo, A., Zuluaga, R., Castro, C., Velez, J., & Gañan, P. (2007). *Nano-composites reforzados con microfibrillas de celulosa aisladas de paredes celulares del raquis de banano*. Obtenido de Universidad Tecnologica de Pereira: <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/5047/2451>
- Achilias, D., Roupakiasa, C., Megalokononimos, P., Lappas, A., & Antonakou, E. (2007). *Chemical recycling of plastic wastes made from polyethylene (LDPE and HDPE) and polypropylene (PP)*. Obtenido de Journal of hazardous materials: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389407009478>
- Thakore, I., Desai, S., Sarawade, B., & Devi, S. (2001). *Studies on biodegradability, morphology and thermo-mechanical properties of LDPE/modified starch blends*. Obtenido de European polymer journal: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0014305700000860>
- Faura, M., & Piqueras, J. R. (2015). *Principios básicos del Microscopio Electrónico de Barrido*. Obtenido de Repositorio Universitario de Coruña: https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/9313/CC-011_art_5.pdf;sequence=1
- Piqué, T. M., & Vázquez, A. (2012). *Uso de Espectroscopía Infrarroja con Transformada de Fourier (FTIR) en el estudio de la hidratación del cemento. Concreto y cemento*. Obtenido de Investigación y desarrollo: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-30112012000100004
- Carro, J. R. (2017). *Estudio del efecto de la corrosión sobre el acero S275JR empleado en la construcción del velero*. Obtenido de Universidad de Oviedo: <http://156.35.2.127/dspace/handle/10651/43495>
- Vera, R. M., & Cañas., F. J. (2005). *Comportamiento frente a la corrosión en ambiente marino de acero galvanizado y acero galvanizado pintado (Duplex)*. . Obtenido de Información tecnológica: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=s0718-07642005000400009&script=sci_arttext
- Garzon, C. P., & Garzon, A. G. (2017). *Análisis de la resistencia a la corrosión en los recubrimientos 140MXC-560AS, depositados con la técnica de proyección térmica por arco eléctrico mediante pruebas de inmersión y cámara de niebla salina*. Obtenido de Universidad Libre: <http://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/10389>
- La Manna, L., Buduba, C., Alonso, V., Davel, M., Puentes, C., & Irisarri, J. (2007). *Comparación de métodos analíticos para la determinación de materia orgánica en suelos de la región andino-patagónica: efectos de la vegetación y el tipo de suelo*. Obtenido de Ciencia del suelo: http://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_25n2/25_2_la_manna_179_188.pdf
- Pomeranz, D. (2011). *Metodos de evaluación*. Obtenido de Harvard Business School : http://www.hbs.edu/faculty/Supplemental%20Files/Metodos%20de%20Evaluacion%20de%20Impacto_44681.pdf
- Vilardy, S. (2012). *Los servicios de los ecosistemas de la Reserva de Biosfera Ciénaga Grande de Santa Marta*. Obtenido de Revista iberoamericana de economía ecológica: <https://www.raco.cat/index.php/Revibec/article/download/261795/349026>
- Mariño, J. J. (2007). *Reflexiones sobre el papel de la ingeniería civil en la evolución del medio ambiente en Colombia*. Obtenido de Revista de ingeniería: <http://ojsrevistaing.uniandes.edu.co/ojs/index.php/revista/article/view/297>



- Viloria, J. D. (2009). *Historia empresarial del guineo: Empresas y empresarios bananeros en el departamento del Magdalena*. Obtenido de Cuadernos de Historia Económica y Empresarial: <http://repositorio.banrep.gov.co/handle/20.500.12134/1976>
- Lugo, J., & Lugo, E. (2018). *Beneficios socio ambientales por potabilización del agua en los pueblos palafíticos de la ciénaga grande de Santa Marta-Colombia*. Obtenido de Actualidad y divulgación científica: <https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/685>
- Barros, Y. F. (2017). *El entorno social y calidad de vida de los habitantes de Nueva Venecia luego del retorno después de la masacre del año 2000*. Obtenido de Advocatus: <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/advocatus/article/view/893>
- caracoltv. (2019). *Seis mil familias en Ciénaga Grande de Santa Marta no tienen qué comer por mortandad de peces*. Obtenido de caracoltv: <https://noticias.caracoltv.com/caribe/seis-mil-familias-en-cienaga-grande-de-santa-marta-no-tienen-que-comer-por-mortandad-de-peces>
- DQI. (2012). *Ficha tecnica del sulfato de aluminio*. Obtenido de DQI: <http://dqisa.com/wp-content/uploads/2015/11/SULFATO-DE-ALUMINIO.pdf>
- Mecozzi, M., Pietroletti, M., & Monakhova, Y. B. (2016). *FTIR spectroscopy supported by statistical techniques for the structural characterization of plastic debris in the marine environment: Application to monitoring studies*. Obtenido de Marine Pollution Bulletin: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X16301424>
- Pacheco, J. A., Flores, Á. M., & Espluga, J. (2013). *Evaluación de riesgos en sistemas agrícolas asociados a la utilización de plaguicidas en el Municipio de Kukra Hill, Nicaragua, Centroamérica*. Obtenido de Nexo: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5006246>
- Bolaños, J., Cordero, G., & Segura, G. (2017). *Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica)*. Obtenido de Tecnología en marcha : <http://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v30n4/0379-3982-tem-30-04-15.pdf>
- Pütz, P. (2010). *Eliminación y determinación de fosfato*. Obtenido de Studylib: <https://studylib.es/doc/5193208/eliminación-y-determinación-de-fosfato>
- Villamar, J. (2009). *Calidad del agua*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/28796884_Proyecto_Investigacion_2007_-_Fosfatos_Totales
- Gutiérrez, M. A. (2006). *Dureza en aguas de consumo humano y uso industrial, impactos y medidas de mitigación*. Obtenido de Universidad de Chile: http://repositorio.uchile.cl/tesis/uchile/2006/neira_m/sources/neira_m.pdf
- Ramírez, A., Restrepo, R., & Viña, G. (1997). *Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales*. Obtenido de Tecnología y futuro: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-53831997000100009
- FOD. (2013). *Análisis físico, químico y biológico de la cuenca hidrológica del Río San Rafael y su posible relación con el impacto ecológico ocasionado por la actividad piñera aledaña al río, durante el periodo de marzo a octubre del año 2013 en Guápiles, Pococí, Limón*. Obtenido de FOD: <http://www.fod.ac.cr/globe/wp-content/uploads/2014/03/Liceo-La-Rita-GLOBE-2013.pdf>
- Castro, S. Y., Zúñiga, Z. L., & Mora, A. D. (2017). *La conductividad como parámetro predictivo de la dureza del agua en pozos y nacientes de Costa Rica*. Obtenido de Tecnología en marcha : <http://www.scielo.sa.cr/pdf/tem/v31n1/0379-3982-tem-31-01-35.pdf>
- Vargas, J. E., & Rangel, J. O. (2012). *Modelación dinámica de los sólidos suspendidos totales en el humedal, Jaboque, Bogotá (Colombia)*. Obtenido de Colombia Forestal : <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v15n2/v15n2a04.pdf>
- Sigler, A., & Bauder, J. (2012). *Alcalinidad, pH, y Sólidos Disueltos Totales*. Obtenido de Universidad estatal de montana :



http://region8water.colostate.edu/PDFs/we_espanol/Alkalinity_pH_TDS%202012-11-15-SP.pdf

- ASBAMA. (2016). *Informe de gestion 2016*. Obtenido de Miniagricultura: :
<https://sioc.minagricultura.gov.co/Banano/Boletines/Informe%20de%20Gestion%202016%20Asbama.pdf>
- Manrique, M. C., & Rivera, D. G. (2012). *Aprovechamiento de los residuos de pseudotallo del banano y del bocadillo para la extracción de fibras textiles*. Obtenido de Universidad tecnologica de Pereira:
<http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/tesisd/textoyanexos/6284458M285.pdf>
- Reis, L. H., Rodrigues, A. O., Mussatto, S. I., Gonçalves, A. R., & Rocha, G. J. (2007). *Hidrólisis enzimática de la celulosa obtenida a partir del pseudotronco de la bananera pretratada con solución de ácido sulfúrico*. Obtenido de Universidad de Sau Paulo:
https://www.researchgate.net/profile/Solange_Mussatto/publication/303984409_Hidrolisis_enzimatica_de_la_celulosa_obtenida_a_partir_del_pseudotronco_de_la_bananera_pretratada_con_solucion_de_acido_sulfurico/links/576163bd08ae2b8d20ed5792/Hidrolisis-enzimatica-de-la-celulosa-obtenida-a-partir-del-pseudotronco-de-la-bananera-pretratada-con-solucion-de-acido-sulfurico.pdf
- Rodríguez, C., Cayón, G., & Mira, J. J. (2006). *Influencia del seudotallo de la planta madre cosechada sobre el crecimiento y producción del hijo de sucesión en banano (Musa AAA Simmonds)*. Obtenido de Agronomía colombiana:
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/20039>
- Moiseev, Y., Bonnvich, H., & Dubrocq, D. (1988). *Estructura Morfológica y Composición Química del Seudo Tallo de Plátano para su Utilización como Material Celulcísico**. Obtenido de ICIDCA:
http://karin.fq.uh.cu/acc/2016/CIENCIAS_TECNICAS/032/New/Documentación/Parte%20VII/Bibliograf%C3%ADa/III/32.pdf
- Yamallel, J. Y., & Calderón, O. A. (2012). *Contenido de carbono total en los componentes de especies arbóreas y arbustivas en áreas con diferente uso, en el matorral espinoso tamaulipeco, en México*. Obtenido de Facultad de Ciencias Forestales:
https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002012000200004
- Rada, J. A., Ariza, H. A., Barrios, I. B., Tovar, C. N., & Lopez, I. R. (2005). *Aprovechamiento del raquis del banano y otros residuos biodegradables como fertilizantes orgánicos en el cultivo de esta fruta*. Obtenido de Infotep:
http://app.infotep.hvg.edu.co/cienaga/hermesoft/portal/home_1/rec/arc_524.pdf
- Giraldo Cano, N. I., & Montoya Martínez, N. (2016). *Caracterización de residuos de banano (pseudotallo y hojas) mediante análisis termogravimétrico para uso potencial como biocombustible sólido*. Obtenido de UDEM:
<http://repository.udem.edu.co/handle/11407/2167>
- Canché, E. G., Andrade, C. S., & Gómez, C. R. (2005). *Obtención de celulosa a partir de los desechos agrícolas del banano. Información tecnológica*, . Obtenido de Revista de Información tecnológica: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-07642005000100012&script=sci_arttext
- Rueda, D. (2015). *Botánica sistémica*. Sangolqui: Universidad de las Fuerzas Armadas. Obtenido de Universidad de Cuenca: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/jspui/handle/123456789/26232>
- Saldarriaga, J., Z. R., López, C. Á., & Gañán, P. (2007). *Caracterización de polisacáridos naturales obtenidos a partir de fuentes colombianas*. Obtenido de Investigaciones aplicadas:
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2577132.pdf>
- Torres, R. G. (2014). *Recuperación de polietileno de baja densidad (LDPE) a partir de empaques tetra pak*. Obtenido de UAEMEX:



<http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/31126/419690.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

- Laza, J. M. (2014). *Estado amorfo. Transición vítrea*. Obtenido de OCW: https://ocw.ehu.eus/pluginfile.php/8680/mod_resource/content/1/Tema_3._Estado_amorfo._Transicion_vitrea.pdf
- Bustamante, B. P. (1994). *La degradación de los plásticos*. Obtenido de Revista Universidad de antioquia: <http://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/download/1408/1280/>.
- Jung, M. R., Horgen, F. D., Orski, S. V., Rodriguez, V., Beers, K. L., Balazs, G. H., & Hyrenbach, K. D. (2018). *Validation of ATR FT-IR to identify polymers of plastic marine debris, including those ingested by marine organisms*. Obtenido de Marine pollution bulletin: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X17310949>
- Martín, Z. H. (2012). *metodo de analisis de datos apuntes*. Obtenido de Universidad de la Rioja: https://www.unirioja.es/cu/zehernan/docencia/MAD_710/Lib489791.pdf
- Unstsabar. (2005). *Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas*. In *Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas. OPS*. Obtenido de Organización Panamericana de la Salud: <http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/agua/174esp-diseno-FiME.pdf>
- Henao, S. V. (2010). *evaluación de la efectividad del filtro a base de arcilla y plata coloidal en la potabilización de agua, medida por pruebas fisicoquímicas y microbiológicas*. Obtenido de Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de tecnología química : <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2086/628352V648.pdf;jsessionid=8AD738479F69494E87F8BE44BC660F4D?sequence=1>
- Mateus, M. S. (2015). *Trabajo de grado: Niebla como fuente alternativa para suministro de agua*. Obtenido de Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito: <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/243/1/Soriano%20Mateus%2C%20Manuel%20Antonio%20-%202015.pdf>
- CIOH. (2007). *Climatología del caribe*. Obtenido de Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas: <https://www.cioh.org.co/meteorologia/Climatologia/ResumenBarranquilla4.php>
- Jimenes, R. C. (2018). Caracterización del sistema de abastecimiento. (Autores, Entrevistador)
- Agüero, J. R., Valenzuela, J. L., Perez, P. H., & Troncoso, P. c. (2014). *Agua de niebla: Nuevas tecnologías para el desarrollo sustentable en zonas áridas y semiaridas*. Obtenido de CORFO: <http://www.cda.uc.cl/wp-content/uploads/2015/12/Libro-Agua-de-Niebla-1.pdf>
- Raschel. (2019). *Malla Raschel*. Obtenido de servicios Raschel : <http://www.mallaraschel.com/servicios.html>
- Quintanilla , G. A., Estruch, F. M., Aravena, J. N., & Villaruel, G. S. (2009). *Aplicación en sistemas de atrapanieblas en el norte de Chile*. Obtenido de Universidad de Chile: https://www.u-cursos.cl/fau/2010/1/DIT-503/1/material_docente/bajar?id_material=453794.
- Nikken. (2019). *Ficha técnica*. Obtenido de NIKKEN: <https://www.nkn.com.co/producto/pimag-water-fall/>
- Bareño, I. A., & Figueroa, M. M. (2016). *Diseño, propuesta e implementación de un filtro para tratamiento de aguas de uso doméstico en tanques de reserva en la población del casco urbano de la inspección de San Antonio de Anapoima*. Obtenido de Universidad libre: <https://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/10401/ANTEPROYECTO%20SEMINARIO%20FILTRO%20ARENA%20ULTIMA%20%20ENTREGA%20JUNIO%202011.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- López, D., & Romo, M. (2005). *Peso bruto promedio en plantas. Escuela de nutrición y dietética. Santiago, Chile*. Obtenido de Universidad tecnológica de Chile.



- Corell, D., Estrela, M. J., Valiente, J. A., Azorín, M. C., Martín, V. J., & Chen, D. (2014). *Análisis sinóptico de los días con recolección de agua de niebla en el nordeste de la Península Ibérica*. Obtenido de Asociación Española de Climatología: http://aeclim.org/wp-content/uploads/2016/02/0016_PU-SA-IX-2014-D_CORELL.pdf
- Olivas, A. L., Cariño, M. M., Bautista, F. C., Chavez, C. R., & Tagles, H. F. (2018). *Potencial de captura de agua atmosférica en el noroeste de México*. Obtenido de Interciencia: https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2018/10/711-BAUTISTA-43_10.pdf
- Mateus, M. S. (2015). *Niebla como fuente alternativa para suministro de agua*. Obtenido de Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- IDEAM. (2019). *Estación meteorológica de Sevilla, Zona Bananera*. Obtenido de IDEAM.
- CEPIS/OPS. (2004). *Guía de diseño para la captación de agua lluvia*. Obtenido de COSUDE: <http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/cd47/lluvia.pdf>
- Icontec. (2004). *Norma Técnica Colombiana 1.500*. Obtenido de Icontec: <https://vdocuments.site/ntc-1500-568834d0ad81a.html>
- Poveda, L. J., & Sanabria, I. J. (2017). *Evaluación de la eficiencia de cinco materiales de malla para el sistema de atrapanieblas en el Municipio de Siachoque – Departamento de Boyacá*. Obtenido de UNAD: <https://core.ac.uk/download/pdf/143468284.pdf>
- Sanchez, H. S., & Arellano, J. J. (2004). *Calculo numérico de coeficientes de arrastre en puentes de grandes claros aplicando el método del elemento finito*. Obtenido de Congreso de ingeniería estructural de Mexico: https://www.researchgate.net/publication/322517508_CALCULO_NUMERICO_DE_COEFICIENTES_DE_ARRASTRE_EN_PUENTES_DE_GRANDES_CLAROS_APLICANDO_EL_METODO_DEL_ELEMENTO_FINITO
- Baute, M. O., & Estrada, A. P. (2004). *comparación de la respuesta estructural de edificios sometidos a cargas de viento longitudinal y de desprendimiento de vórtices: normatividad VS simulación*. Obtenido de Sociedad mexicana: http://www.smie.org.mx/SMIE_Articulos/co/co_19/te_05/ar_01.pdf
- REP. (2018). *Enlace profesional*. Obtenido de Red de comunidades de egresados de Antioquia: <https://www.elcolombiano.com/negocios/economia/escala-salarial-en-colombia-XG8484123>
- Consultor Salud . (2018). *Salario mínimo 2019 y auxilio de transporte-Decreto 2451 y 2452 de 2018*. Obtenido de Consultor Salud : <http://www.consultorsalud.com/salario-minimo-2019-y-auxilio-de-transporte-decretos-2451-y-2452-de-2018>
- Banacol. (2019). *Bolsa tratada*. Obtenido de Banacol: <https://www.banacol.com/fabrica-de-plasticos/>
- Caracol. (2015). *Alimentos*. Obtenido de Caracol Noticias.
- Alibaba. (2015). *tanque de almacenamiento de agua potable*. Obtenido de Alibaba: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/5000-litre-30000-liter-stainless-steel-water-diesel-liquid-storage-tank-60822410604.html?spm=a2700.8699010.normalList.5.bea56567p3mwCt&s=p>
- Sodimac. (2019). *Malla raschel*. Obtenido de Sodimac: <https://www.sodimac.com.pe/sodimac-pe/product/2277077/malla-raschel-50-negro-x-rollo-de-100-m>
- Palacios, B. M., & Alvarez, F. C. (2014). *Criterios metodológicos para la definición de sistemas de captación de aguas con base en lluvia horizontal*. Obtenido de Universidad Católica de Colombia : <https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/1748/1/Atrapanieblas%20B.%20Mendoza%20F.%20Casta%20C3%B1eda.pdf>
- Melendez, J. G. (2016). *Plan de desarrollo de Sitio Nuevo 2016-2019*. Obtenido de Sitio Nuevo, Magdalena:



https://sitionuevomagdalena.micolombiadigital.gov.co/sites/sitionuevomagdalena/content/files/000021/1008_plandedesarrolloterritorialisionuevo20162019_4.pdf

Houghton, H. M., Giles, D., Hanson, M., Emmons, C., & Hogan, J. (2015). *The Relationship between Vessel Traffic and Noise Levels Received by Killer Whales (Orcinus orca)*. Obtenido de PLoS ONE: 10.1371/journal.pone.0140119

Rodríguez, L. R., Chávez, M. M., de Roshardt, F. L., & Álvarez, A. d. (2017). *Factibilidad de uso del PET reciclado en elementos de cubiertas y envoltentes*. Obtenido de Revista UCR: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/download/27076/30105/>

EPAS. (2019). *Agua potable*. Obtenido de Secretaria de servicios publicos: <http://www.epas.mendoza.gov.ar/index.php/sistema-sanitario/agua-potable>

Arcila, H. R., & Zúñiga, O. (2014). *Evaluación de la calidad del agua de lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico en la ciudad de Ibagué, Tolima, Colombia*. Obtenido de Ingeniería solidaria: https://www.google.com/search?client=safari&rls=en&ei=3JnUXJO8EMWc5gLEkpuIDw&q=Evaluación+de+la+calidad+del+agua+de+lluvia+para+su+aprovechamiento+y+uso+doméstico+en+la+ciudad+de+Ibagué%2C+Tolima%2C+Colombia&oq=Evaluación+de+la+calidad+del+agua+de+lluvia+para+su+aprovechamiento+y+uso+doméstico+en+la+ciudad+de+Ibagué%2C+Tolima%2C+Colombia&gs_l=psy-ab.3...0.0..21274...0.0..0.0.0.....0....2..gws-wiz.uLBqnChbF3M#

